

**KONCENTRACJA WYBRANYCH METALI CIĘŻKICH  
W UTWORACH WEZBRANIOWYCH WISŁY W OKOLICACH MAGNUSZEWA  
W ŚWIELE MORFOGENEZY FORM FLUWIALNYCH  
(ŚRODKOWY BIEG RZEKI, CENTRALNA POLSKA)**

**HEAVY METALS CONCENTRATION IN VISTULA FLOOD DEPOSITS IN THE MAGNUSZEW AREA  
(MIDDLE RIVER COURSE, CENTRAL POLAND) IN THE BACKGROUND  
OF VALLEY BOTTOM MORPHOGENESIS**

EWA FALKOWSKA<sup>1</sup>, TOMASZ FALKOWSKI<sup>2</sup>

**Abstrakt.** Koncentracja metali ciężkich w osadach rzecznych jest ściśle związana z charakterem procesów sedymentacji, transportu i erozji rzecznej. Ich występowanie w rzekach wiąże się bowiem głównie z cząstkami mineralnymi i organicznymi przenoszonymi w zawiesinie. Z tego też względu dynamika przepływu, szczególnie wielkich wód, ma kluczowe znaczenie dla dystrybucji i wtórnego uruchamiania metali ciężkich w tym środowisku. W trakcie badań prowadzonych w dolinie Wisły w okolicach Magnuszewa stwierdzono, że rozkład koncentracji metali ciężkich w osadach powierzchniowych odzwierciedla zróżnicowanie dynamiki poszczególnych środowisk tarasu zalewowego. Najwyższe zawartości Cu, Co, Zn, V, Cr i Ni występują w obrębie osadów budujących stożki napływowe wód wezbraniowych, uformowanych u wylotu rynien przelewowych (krewasy). Największe zawartości Sr, Pb i As stwierdzono w osadach wypełniających przeobrażone starorzecza. Najniższe zawartości badanych metali ciężkich występują w osadach głównych kanałów przepływów powodziowych.

**Słowa kluczowe:** dolina rzeczna, osady aluwialne, metale ciężkie.

**Abstract.** The concentration of heavy metals in fluvial deposits is strictly connected with the character of the river deposition, transport and erosion processes. Their presence in river waters is mostly connected with the smallest particles, organic as well as mineral transported in suspension. The dynamics of the high waters flow is of crucial importance for heavy metals distribution and activation after alluvia reworking. Investigations were carried out in Vistula River valley near Magnuszew (middle course). Differentiation of heavy metals distribution connected with recognised morphodynamic zones was detected. The highest content of Cu, Co, Zn, V, Cr and Ni was established in deposits of alluvial fans formed within crevasse zones. The highest content of Sr, Pb i As was detected in deposits filling up transformed oxbow lakes. The lowest content of heavy metals was determined in the main flood flow channel zones.

**Key words:** river valley, alluvial deposits, heavy metals.

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, ul. Żwirki i Wigury 93; ewa.falkowska@uw.edu.pl

<sup>2</sup> Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa; tomasz\_falkowski@sggw.pl

## WSTĘP

Doliny rzeczne na obszarach niżowych, obok wysokich walorów przyrodniczych, mają także duże znaczenie gospodarcze (Gacka-Grzesikiewicz red., 1995). Szczególnym polem konfliktu bywają obszary ich tarasów zalewowych. Możliwość degradacji środowiska jest w ich obrębie wysoka, między innymi ze względu na małą zazwyczaj miąższość strefy aeracji i dużą przepuszczalność osadów facji korytowej. Cechy te ułatwiają docieranie ewentualnych zanieczyszczeń do aluwialnej warstwy wodonośnej. Z dynamiką tworzenia równi zalewowej (Zwoliński, 1992; Miall, 1996), jak też jej ewolucji związanej ze zmianami reżimu hydrologicznego rzek przebiegającymi od schyłku plejstocenu do dziś (Falkowski, 1975; Kozarski, Rotnicki, 1977; Mycielska-Dowgiało, 1978; Starkel, 1983) wiąże się istotne zróżnicowanie litologiczne utworów aluwialnych. Analizy geochemiczne przeprowadzane w celu określenia tempa depozycji elementów antropogennych powinny uwzględniać zróżnicowanie morfodynamiki środowisk równi zalewowej. Zawartość składników spektrum geochemicznego w warstwach utworów rzecznych zależna jest bowiem z jednej strony od naturalnych cech środowiska (tło), a z drugiej od dynamiki współczesnych procesów depozycji i erozji (głównie wezbraniowej), które warunkują koncentrację i ponowne uruchamianie tych substancji.

Sam proces transportu metali ciężkich zależy od ich właściwości fizyczno-chemicznych oraz od dynamiki i właściwości chemicznych środowiska wodnego (Forster, Wittman, 1983; Miller, 1997). Metale ciężkie występują w wodach rzecznych w formie rozpuszczonej, w formie agregatów wytrąconych z roztworów bądź w postaci zaadsorbowanej przez mineralne oraz organiczne składniki rumowiska rzeczного. Największy ładunek metali ciężkich transportowany jest w rzekach wraz z unoszonym rumowiskiem (suspensja). Około 90–99% tego ładunku związana jest z transportem cząstek frakcji <63  $\mu\text{m}$  (Horowitz, 1991).

Dystrybucja metali ciężkich w osadach rzecznych związana jest zatem w dużym stopniu z litologią rumowiska, przy czym szczególne znaczenie ma zawartość minerałów ilastych i ich skład mineralny, zawartość substancji organicznej, węglanów, tlenków i wodorotlenków żelaza itp. (Helios-Rybicka, 1986; Petterson i in., 1993; Kyzioł, 1994; Velde, 1995).

Przestrzenne zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w osadach aluwialnych warunkowane jest także współczesną morfodynamiką powierzchni równi zalewowej (Miller, 1997; Walling i in., 2003; Ciszewski i in., 2004; Galán i in., 2008; Conde-Bueno i in., 2009). Bardzo często najwyższe koncentracje metali ciężkich występują w strefie sąsiadującej z korytem i zmniejszają się w kierunku strefy dystalnej równi zalewowej (Marron, 1989; Graf i in., 1991; Macklin, 1996; Ciszewski, 2003). Bradley i Cox (1990) oraz Wyźga i Ciszewski (2010) wskazują jednak wręcz odwrotny trend – wzrastającą koncentrację metali w osadach tarasu zalewowego w miarę oddalania się od koryta. Wyźga i Ciszewski

wykazali dodatkowo badając dolinę Wisły, że rozkład ten zależy między innymi od szerokości równi zalewowej i jej stosunku do szerokości koryta.

Różnice rozkładu zawartości metali ciężkich w osadach aluwialnych dolin rzecznych mogą wynikać z nieuwzględniania w badaniach geochemicznych specyfiki procesów korytowych przebiegających na różnych odcinkach rzeki oraz zróżnicowania dynamiki przepływów wezbraniowych. Obserwowane jest ono w poszczególnych strefach dna doliny, a także w poszczególnych fazach wezbrania (np. Zwoliński, 1992). Zwykle badania geochemiczne osadów aluwialnych przeprowadzane są w przekrojach prostopadłych do doliny/koryta. Pod względem geomorfologicznym pobór próbek jest zatem często przypadkowy.

W dotychczas publikowanych pracach nie przedstawia się dokładnej identyfikacji form rzeźby terenu w obrębie badanego fragmentu równi zalewowej, a także analizy ich wzajemnych relacji przestrzennych.

Szczegółowa analiza rozkładu zawartości metali ciężkich w utworach równi zalewowej, opisywana w wielu pracach, sugeruje jednak, że stwierdzane anomalie mogą być związane z morfogenezą tej powierzchni. Dodatkowym wskazaniem tego zjawiska jest obserwowane w niektórych dolinach rzecznych zjawisko wyraźnego wzrostu zawartości metali ciężkich w obrębie równi zalewowej, które uznawane jest za efekt awulsji lub erozji bocznej. Miejsca o podwyższonej zawartości metali ciężkich w utworach pozakorytowych wiąże się ze śladami koryt formowanych w czasie największej aktywności górniczej w dorzeczu (Lewin, Macklin, 1987).

Na powiązanie zawartości metali ciężkich w osadach rzecznych z morfologią strefy równi zalewowej wskazują m.in. prace Asselmana i Middelkoope (1995). Stwierdzili oni, że najwyższe koncentracje tych pierwiastków występują w depresjach powierzchni równi zalewowej rzeki, gdzie przebiega depozycja najdrobniejszych frakcji utworów wezbraniowych (iłowej i pyłowej). Znaczenie takich stref dla koncentracji metali ciężkich w osadach aluwialnych podkreślali także Wolfenden i Lewin (1977) oraz Taylor (1996). Jednak także i w tych pracach brak jest dokładnej morfodynamicznej charakterystyki badanych stref, w tym także analizy ich związku z ewolucją układu koryta, która pozwoliłaby na powiązanie koncentracji metali ciężkich w osadach wezbraniowych z konkretnymi procesami fluwialnymi.

Celem badań, które prowadzono na odcinku doliny Wisły środkowej w okolicach Magnuszewa, było określenie związku zawartości wybranych metali ciężkich z rozmieszczeniem różnych stref morfodynamicznych na powierzchni tarasu zalewowego. Powierzchnia tarasu zalewowego analizowanego odcinka doliny Wisły charakteryzuje się bardzo skomplikowanym układem wychodni. Jest ona związana z ewolucją środowiska fluwialnego, przebiegającą od schyłku ostatniego zlodowacenia do dziś (Falkowski, 1975; Starkel, 2001; Falkowski, 2007).

## METODYKA BADAŃ

W celu określenia zróżnicowania litologicznego dna doliny przeprowadzono kartowanie geologiczne, w trakcie którego pobierano próbki gruntu do analiz laboratoryjnych. W identyfikacji stref morfodynamicznych wykorzystywano zdjęcia lotnicze i wysokorozdzielcze, wielospektralne zobrażenia satelitarne wykonywane przez cywilnego satelitę IKONOS-2, należącego do amerykańskiej spółki GeoEye. Zobrażenia satelitarne wykonane zostały w dwóch kompozycjach barwnych: barwach rzeczywistych (RGB) i barwach nienaturalnych z uwzględnieniem bliskiej podczerwieni (NRG), co ułatwiło identyfikację granic wychodni osadów nawet bardzo zbliżonych pod względem litologicznym. Punkty badawcze i granice wydzielen lokalizowane były w terenie z wykorzystywaniem odbiorników kodowych DGPS. Wyniki badań były archiwizowane w bazie danych GIS.

Charakterystyka litologiczna badanych utworów obejmowała analizę granulometryczną (areometryczną i sitową), oznaczenie zawartości węgla wapnia metodą Scheiblera, zawartości substancji organicznej metodą strat prażenia (pra-

żenie w temperaturze 550°C), określenie pH (w H<sub>2</sub>O) gruntów metodą potencjometryczną (Myślińska, 2001). Skład mineralny frakcji iłowej oznaczono metodą rentgenostrukturalną. Badano próbki orientowane: sedymentowane, po glikolowaniu i prażone.

Do badań zawartości wybranych pierwiastków, w tym metali ciężkich, wytypowano 88 próbek osadów, reprezentatywnych dla wydzielonych form geomorfologicznych. Próbki zostały przesiane przez sito 1,0, a następnie rozdrobnione w młynach kulowych i wysuszone w temperaturze 105°C. W kolejnym etapie rozkładano je na mokro w układzie zamkniętym z wykorzystaniem ogrzewania mikrofalowego (mineralizator MULIWAVE Paar Physica). W trakcie rozkładu osadów zastosowano HCl w rozcieńczeniu 6/100, HNO<sub>3</sub> – 2/100 oraz H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – 1/100. W otrzymanych roztworach zbadano zawartość pierwiastków głównych i śladowych metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą sprzężoną indukcyjnie ICP-AES (spektrometr Optima 5300 DV - Perkin Elmer).

## MORFOGENEZA BADANEGO ODCINKA DOLINY WISŁY

W obrębie analizowanego fragmentu tarasu zalewowego doliny Wisły wydzielić można za Sarnacką (1980a, b, 1982) dwa główne elementy: taras zalewowy wyższy, który został uformowany przez meandrującą Wisłę, i taras zalewowy niższy, tworzony wspólnie przez rzekę roztokową.

Powierzchnia tarasu zalewowego rzeki meandrującej, funkcjonującej tu od schyłku plejstocenu do około 300 lat BP (Falkowski, 1982), charakteryzowała się małą różnorodnością litologiczną i morfologiczną. Zalewy wezbraniowe o niewielkiej dynamice deponowały na powierzchni tarasu gliniaste mady. W okresach „wzmózonej częstotliwości powodzi” (Starkel, 1994) tempo przyrostu osadów wezbraniowych wzrastało. Pojawiały się także w profilu osadów erozyjne wcięcia i powierzchnie erozyjne. Maksymalna miąższość holocenijskich mad na analizowanym odcinku może dochodzić do 5 m (Falkowski, 2006). Obecnie osad ten o znacznie zredukowanych miąższościach występuje w dnie doliny w postaci izolowanych płatów, przykrytych późniejszymi osadami wezbraniowymi.

Skomplikowany układ wychodni na powierzchni tarasu jest głównie efektem działalności wód wezbraniowych roztokowej Wisły. Transformacja systemu rzecznej (od rzeki meandrującej do roztokowej) nastąpiła, podobnie jak w przypadku innych rzek na Niżu Polskim, wskutek ingerencji człowieka w środowisko przyrodnicze zlewni (Falkowski, 1971; Kozarski, Rotnicki, 1977; Starkel, 1983; Szumański, 1986). Zagospodarowanie zlewni wywołało zmiany reżimu hydrologicznego rzek, polegające między innymi na zwiększeniu się różnic między przepływami ekstremalnymi i przecię-

niem rzeki rumowiskiem. W efekcie doprowadziło to do nadbudowania strefy korytowej i uformowania w ten sposób tzw. tarasu współczesnego – tarasu zalewowego niższego (Sarnacka 1980a, b, 1982). Zjawisko to określane jest jako „dziczenie rzek” (Falkowski, 1971).

Wzrost natężenia przepływu wielkich wód w korycie dziczącej Wisły powodował także wzrost głębokości wezbraniowej przeróbki aluwii (erozji wgłębnej). W końcu dno koryta wielkich wód oparło się na powierzchni podłoża aluwii, zbudowanego z gruntów o większej odporności na rozmywanie, w miejscach, gdzie tworzyło ono morfologiczne kulminacje. Rzeźba podłoża zaczęła oddziaływać na koncentrację strumienia wielkich wód. Wielkie wody kierowane morfologią odsłoniętego w czasie wezbrań w dnie koryta trudno rozmywanego podłoża wdzierały się na powierzchnię tarasu w określonych miejscach (Falkowski, 2007). W niektórych przypadkach koncentracja erozji wód wezbraniowych związana była z zatorami lodowymi, powstającymi w strefach występowania kulminacji podłoża (Falkowski, Popek, 2000).

Przeprowadzone w czasie przepływu wielkich wód echosondazowe badania morfologii koryta wykazały zgodność układu głównego nurtu z ukształtowaniem rzeźby stropu podłoża współczesnych aluwii w korycie Wisły (Falkowski, 2007). Strefy koncentracji głównego nurtu kontynuują się także na powierzchni tarasu w postaci wyraźnych śladów przepływu wód wezbraniowych. Przed wybudowaniem wałów przeciwpowodziowych wody wezbrań przepływały po powierzchni tarasu zalewowego wyerodowanymi rynnami,

wykorzystując także ciągi wydłużonych starorzeczy. U wylotu takich śladów przepływów wód wezbraniowych na wschód od Magnuszewa znajduje się rozległa strefa depozycyjna o charakterze aluwialnego stożka wód wezbraniowych (glif krewasowy). Powstała ona głównie w wyniku depozycji niesionego przez strumień wód wezbraniowych materiału piaszczystego i pylastego, towarzyszącej procesowi rozmywania i redepozycji starszych osadów wezbraniowych. Stożki te są genetycznie zbliżone do form depozycji pozakorytowej, opisywanych przez Zielińskiego (2000) w dolinie Nysy Kłodzkiej (SW Polska) oraz przez Gębicę i Sokołowskiego (2001) w dolinie górnej Wisły. Formy takie wiązał Karabon (1980) z działalnością wód wezbrań zatorowych. Stożki

rejonu Magnuszewa mają postać schodzących się promieniście piaszczystych i piaszczysto-pylastych wałów (fig. 1), pomiędzy którymi w obniżeniach zostały zdeponowane drobniejsze, często organiczne osady. W części SE stożek ten nosi ślady przemodelowania przez wody, które przerywały lewobrzeżny wał na odcinku 439–440 kilometra biegu rzeki, zanim został on wzmocniony dodatkową budowlą.

Przepływy wezbraniowe dzięki, roztokowej Wisły zniszczyły na znacznym obszarze analizowanego odcinka tarasu zalewowego serię gliniastych mad z okresu meandrowania, deponując na powierzchni erozyjnej warstwowane pyły, piaski pylaste, gliny pylaste oraz piaszczyste namuły (Myślińska, 1984).

## CHARAKTERYSTYKA WYDZIELONYCH FORM GEOMORFOLOGICZNYCH

Przeprowadzone badania budowy geologicznej pozwoliły na wydzielenie na obszarze doliny Wisły w okolicach Magnuszewa pięciu głównych stref morfogenetycznych (Falkowska, Falkowski, 2010), charakteryzujących się odmiennym wykształceniem litologicznym strefy przypowierzchniowej (fig. 1):

**A.** Obszar tarasu rzeki meandrującej (taras madowy), przeobrażonego przez przepływy wezbraniowe współczesnej, dzięki Wisły (w większości przed wybudowaniem wałów przeciwpowodziowych). Powierzchnia ta pomimo mało zróżnicowanej morfologii charakteryzuje się dużą zmiennością profilu litologicznego utworów powierzchniowych. Budują ją przewarstwiane się wzajemnie piaski drobne, piaski pylaste, pyły, gliny pylaste, gliny pylaste zwięzłe, ily pylaste. Miąższość poszczególnych warstw waha się w przedziale od 0,3 do 0,6 m. Utwory powodziowe przykrywające powierzchnię tej strefy to gliny pylaste, gliny zwięzłe oraz ily o zawartości frakcji iłowej od 18 do 50%, przy średniej wynoszącej 41%, a medianie – 38%. Zawierają one od 1,2 do 5,6% substancji organicznej i są bezwęglanowe. pH utworów powodziowych zmienia się w wąskim zakresie wartości od 6,8 do 8,2 (tab. 1).

**B.** Strefy stożków wód wezbraniowych uformowanych u wylotu rynien przelewowych. Stwierdzono tu dwa główne typy profili litologicznych utworów powierzchniowych. W strefach wydłużonych wałów warstwa utworów spoiстых – glin, glin pylastych i iłów pylastych, przewarstwianych się wzajemnie, o miąższościach od 0,6 do 1,6 m (średnio 1,0 m) – leży na warstwie piasków z przeławieniami pyłu. Pomiedzy wzniesieniami warstwę przypowierzchniową budują gliny pylaste i ily pylaste, miejscami przewarstwione cienkimi, do 30 cm, wkładkami piasków o różnym uziarnieniu. Zmienność litologiczna gruntów budujących obszar stożków wód wezbraniowych jest zdecydowanie większa niż w strefie A. Zawartość frakcji iłowej zmienia się w szerszym zakresie: od 21 do 67%, jednak wartość mediany jest mniejsza i wynosi 33%. W osadach wezbraniowych tej strefy zawartość substancji organicznej mieści się w zakresie od 2,0 do 5,6%.

Wartość średnia i mediana wynoszą odpowiednio 4,3 oraz 4,1%. Obecność CaCO<sub>3</sub> stwierdzono jedynie w pojedynczych próbkach, a ilość tego składnika nie przekraczała 6,6%. Wartość pH tych spoiстых utworów zmienia się w zakresie od 5,98 do 8,50 (tab. 1).

**C.** Strefy głównych przepływów wezbraniowych w postaci wyraźnych rynien przelewowych, biegnących częściowo w obrębie ułożonych liniowo starorzeczy. Dominują tu dwa typy profili: zbudowane z piasków o różnej granulacji, od drobnych do grubych, często wzajemnie się przewarstwianych, oraz zbudowane z piasków pylastych. Zwykle w strefie brzeżnej głównego kanału, przy krawędzi tarasu zalewowego, na jednorodnej serii spoiстых mad rzeki meandrującej, zbudowanej z glin pylastych i iłów pylastych, leży warstwa piasków pylastych, drobnych i średnich o miąższościach od 1,1 do 2,0 m. W strefach zaadaptowanych na trasę przepływu wód wezbraniowych starorzeczy lokalnie występują torfy o miąższościach dochodzących do 2 m, z drobnymi laminkami drobnych piasków, a czasami piaski z substancją organiczną. Mady występujące w profilach stref głównych kanałów przepływów powodziowych wykazują mniejszą zawartość frakcji iłowej (8–26%, średnia 16%, mediana 17%). Są to pyły, gliny pylaste oraz gliny zwięzłe. Również zawartość substancji organicznej jest w nich mniejsza niż w osadach poprzednich stref tarasu zalewowego, wynosi średnio 2,8%. Lokalnie są one wzbogacone w węglan wapnia (do 6,3%), a pH tych utworów waha się w zakresie od 6,81 do 7,97 (tab. 1). Piaski występujące w tych strefach to piaski drobne i średnie, bezwęglanowe.

**D.** Strefa tarasu współczesnego. Jest to strefa tarasu zalewowego o niewielkim zróżnicowaniu litologii utworów powierzchniowych. Utwory powodziowe tarasu współczesnej, dzięki rzeki to gliny zwięzłe o zawartości frakcji iłowej mieszczącej się w zakresie od 21 do 27% (średnia 25%, mediana 24%). Zawierają one 2,6–3,0% substancji organicznej (średnio 2,8%). Ich pH wynosi 7,19–8,47.

**E.** Starorzecza. Jest to strefa charakteryzująca się znaczną zmiennością typów litologicznych, od torfów i namułów





Tabela 1

**Charakterystyka litologiczna osadów budujących formy rzeźby terenu  
w dolinie Wisły w okolicach Magnuszewa**

Lithological characteristic of deposits forming geomorphological units of Vistula River valley  
in Magnuszew area

Forma rzeźby terenu	Liczba próbek	Zawartość frakcji iłowej min-max (mediana) średnia [%]	Straty prażenia min-max (mediana) średnia [%]	Zawartość CaCO <sub>3</sub> [%]	pH
Taras madowy rzeki meandrującej przeobrażony przez rzekę współczesną (A)	16	18–50 (38) 41	1,25–5,58 (3,12) 2,80	–	6,81–8,17
Stožki napływowe uformowane u wylotu kanałów ulgi (B)	18	21–67 (33) 33	2,06–5,65 (4,32) 4,10	0–6,65 (poj.)	5,98–8,50
Główne kanały przepływów powodziowych (C)	17	8–26 (16) 17	2,19–3,66 (2,83) 2,91	0–6,31(poj.)	6,81–7,97
Taras rzeki współczesnej (D)	12	21–27 (24) 25	2,57–3,02 (2,73) 2,86	–	7,19–8,47
Starorzecza (E)	14	2–6 (4) 3	68,52–79,19 (78,41) 77,32	–	5,33–6,10
Taras rzeki plejstocenijskiej (F)	11	9–38 (25) 26	3,89–6,72 (4,84) 3,90	–	5,80–6,79

40 cm. Stwierdzono tu również profil zbudowany z ciągłych warstw piasków o różnym uziarnieniu, od pylastych do piasków grubych. Zróżnicowanie litologiczne osadów powodziowych tego tarasu świadczy o zmiennym charakterze przepływu rzek. Mady występujące w obrębie tego tarasu to pyły, gliny, gliny związane oraz ropy o zawartości frakcji iłowej mieszczącej się w zakresie od 2 do 38%, przy średniej rów-

nej 26%. Zawierają one znaczne ilości substancji organicznej, dochodzące do 7% (średnia 5%, mediana 4%). pH tych utworów waha się w zakresie od 5,8 do 6,8 (tab. 1).

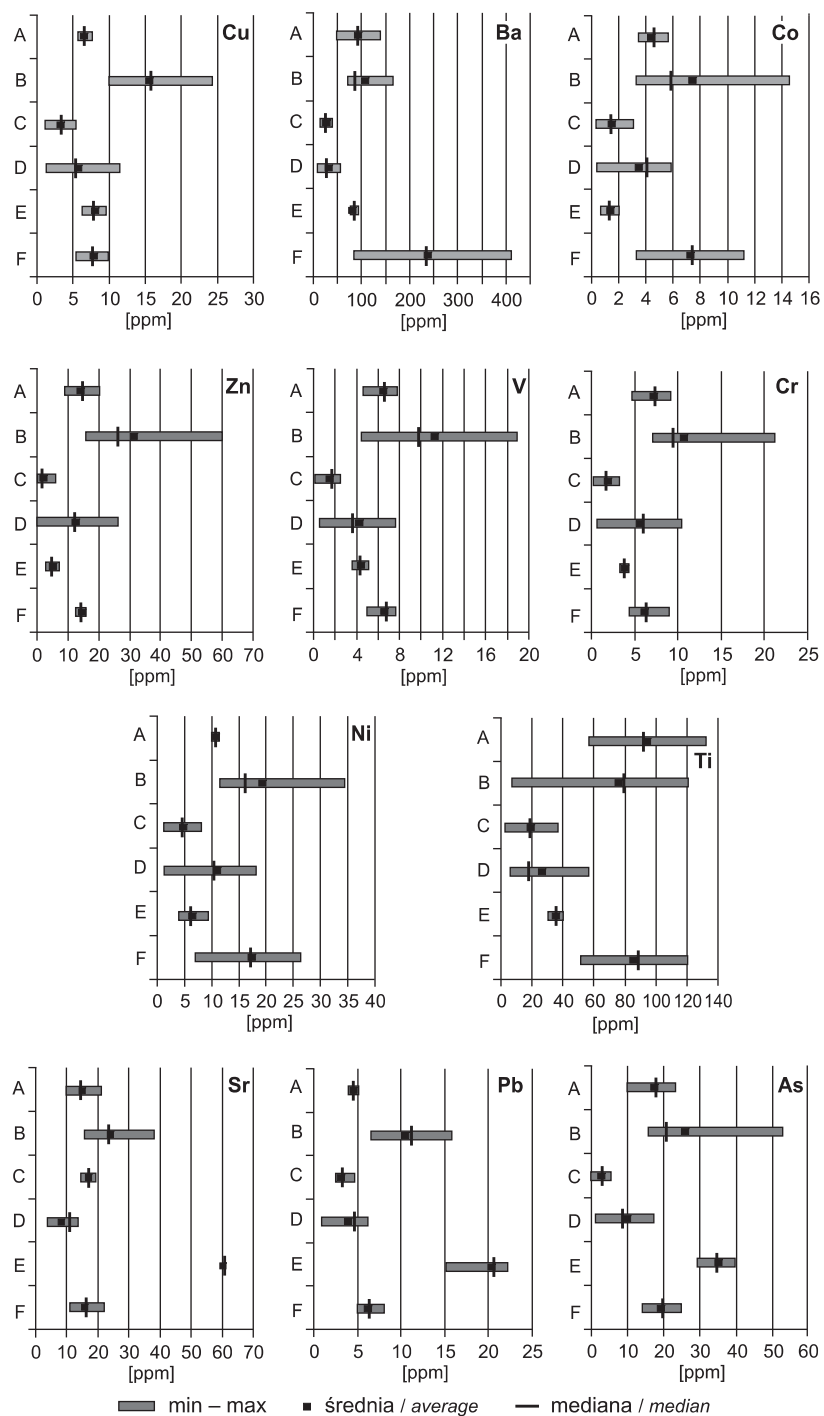
W składzie frakcji iłowej osadów powodziowych doliny Wisły okolic Magnuszewa dominują smektyty. W mniejszej ilości występują także kaolinit i illit oraz w formie domieszek minerały mieszanopakietowe.

## ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH

Badany obszar tarasu zalewowego Wisły wykorzystywany jest rolniczo. Oznaczone zawartości metali ciężkich nie przekraczają wartości średnich, charakterystycznych dla tego rejonu, przedstawionych na mapach geochemicznych Polski (Lis i in., 1997). Mieszczą się one również w zakresach zawartości przeciętnych dla różnych typów gleb uprawnych Polski (Dobrzański i in., 1973; Dudka, 1992). Nie są także wyższe od dopuszczalnych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleb i oraz standardów jakości ziemi (Rozporządzenie..., 2002). Stwierdzone stężenia oznaczanych pierwiastków w gruntach mieszczą się

także w zakresach optimum standardów tzw. listy holenderskiej (Dutchlist).

Rozkład oznaczanych pierwiastków jest jednak na badanym obszarze doliny Wisły nierównomierny. Najwyższe zawartości Cu, Zn, V, Cr i Ni stwierdzono w obrębie osadów budujących strefę B, czyli stożki wód wezbraniowych uformowane u wylotu rynien przelewowych. Wskazują na to zarówno wartości średnie, jak i mediany (fig. 2). Natomiast najwyższe koncentracje Sr, Pb, Co i As wykazują torfy starorzeczny. Odmienną prawidłowość stwierdzono dla Ti i Ba. Najwyższe zawartości Ti wykazały osady tarasu madowego,



- A taras madowy rzeki meandrującej przeobrażony przez rzekę współczesną  
*flood terrace of meandering river reworked by contemporary flows*
- B stożki wód wezbraniowych uformowane u wylotu rynien przelewowych  
*flood fans formed in the mouth of erosion troughs*
- C główne kanały przepływów powodziowych  
*main erosion troughs*
- D taras rzeki współczesnej  
*contemporary terrace*
- E starorzecza  
*oxbow lakes*
- F tarasy rzeki plejstoceńskiej  
*Pleistocene terrace*

**Fig. 2. Zawartość metali ciężkich w osadach doliny Wisły w okolicach Magnuszewa**

Content of heavy metals in the deposits of Vistula River valley in Magnuszew area

przeobrażonego przez rzekę współczesną, oraz w obrębie stożków wezbraniowych. W przypadku Ba natomiast najwyższe koncentracje wykazały osady tarasu rzeki plejstocenińskiej. Osady budujące stożki wód wezbraniowych uformowane u wylotu rynien przelewowych (B) charakteryzują się największym zróżnicowaniem koncentracji wszystkich badanych pierwiastków.

Niższe niż w osadach stożków wód wezbraniowych uformowanych u wylotu rynien przelewowych zawartości większości badanych pierwiastków, za wyjątkiem Ti, stwierdzono w utworach budujących strefę A, czyli taras madowy rzeki meandrującej przeobrażony przez rzekę współczesną. Po-

nadto zakres uzyskanych wartości jest niewielki. Wyjątkiem jest również Ti, którego rozkład koncentracji jest wyraźnie większy. Podobny poziom zawartości tych metali uzyskano dla osadów tarasu rzeki plejstocenińskiej, przy czym zakres uzyskanych koncentracji jest tutaj niewielki. Inną tendencję zauważono w przypadku Ba, Ti i Co, gdzie wyższe zawartości w stosunku do osadów strefy A uzyskano właśnie dla strefy F.

Najniższe koncentracje Cu, Ba, Co, Zn, V, Cr, Ni, Ti i As stwierdzono w utworach głównych kanałów przepływów powodziowych, natomiast Pb i Sr – w obrębie osadów tarasu rzeki współczesnej.

## DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań geochemicznych zostały przeanalizowane testem Shapiro–Wilka, który wskazał, że tworzą one rozkład normalny. Zjawisko to jest zgodne z ogólnym trendem identyfikowanym dla danych geochemicznych (Krumbein, 1937; Salonen, Korkka-Niemi, 2007). Jednak dystrybucja poszczególnych badanych metali ciężkich jest różna. Stwierdzono, że dla badanych osadów istnieje silna wzajemna korelacja zawartości Cr, Co, Ni, Cu, V, As i Zn oraz że współczynnik tej korelacji jest większy od 0,7 przy prawdopodobieństwie mniejszym od 0,05 (tab. 2). Pomiedzy tymi pierwiastkami a Sr, Ba, Ti i Pb korelacja jest średnia, słaba lub nawet nie występuje, gdyż  $r < 0,7$ . Badania wskazują na częste współwystępowanie Pb i Sr w analizowanych osadach, co potwierdza także silna korelacja pomiędzy tymi pierwiastkami, przy prawdopodobieństwie  $p < 0,05$ . Odmienny rozkład koncentracji Pb i Sr oraz pozostałych metali ciężkich wynika w dużym stopniu z tego, że ich zawartość związana jest ściśle z zawartością substancji organicznej, na co wskazuje silna korelacja, dla której  $r > 0,7$ , natomiast w przypadku Cr, Co, Ni, Cu, V, As i Zn największe znaczenie ma zawartość frakcji ilowej. Odmiennie zachowanie wykazuje bar. Jego zawartość nie jest związana z zawartością substancji organicznej, a w przypadku frakcji ilowej – w niewielkim stopniu, bo współczynnik korelacji tych dwóch wielkości wynosi dla badanych osadów 0,56. Stwierdzono korelacje jego zawartości jedynie z zawartością tytanu. Wyniki te wskazują, że prawidłowości koncentracji badanych metali ciężkich należy rozważać w czterech grupach. Pierwszą z nich stanowią Cr, Co, Ni, Cu, V i Zn, drugą Pb i Sr, trzecią Ba i Ti, a czwartą tworzy As (fig. 2).

Zawartość badanych metali ciężkich zależy od charakteru i cech litologicznych osadów, a więc tym samym od genezy, czyli środowiska sedymentacji determinującego skład litologiczny.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, przyczyną obserwowanego na powierzchni tarasu zalewowego skomplikowanego układu wychodni osadów rzecznych jest przestrzenne zróżnicowanie procesów przeobrażania powierzchni tarasu przez przepływy wezbraniowe. Ewolucja systemu

rzecznego, jaka nastąpiła w zlewni Wisły w czasach historycznych, pociągać musiała za sobą zmiany typu depozycji aluwii. W przypadku jednak okolic Magnuszewa zmiany te charakteryzują się pewną specyfiką. Koncentracja przepływów wezbraniowych, która współcześnie jest np. przyczyną powtarzających się w konkretnych strefach (np. w km 439 w okolicach miejscowości Latków) awarii budowli hydrotechnicznych (Falkowski, 2007) wiąże się tu z oddziaływaniem podłoża aluwii (Falkowski, 2006). Zjawisko to, bezpośrednio wpływające na różnicowanie środowisk sedymentacji utworów wezbraniowych, pojawiło się wraz z towarzyszącym procesowi dziczenia rzeki wzrostem zasięgu erozji w głębszej wielkich wód. Koncentracja przepływu wód wezbraniowych w konkretnych strefach jeszcze przed wybudowaniem wałów przeciwpowodziowych doprowadziła do znacznej redukcji miąższości mad z okresu meandrowania Wisły. Osady wezbraniowe zawierające duże ilości minerałów ilastych i substancji organicznej zostały zastąpione znacznie bardziej ubogimi w te składniki madami rzeki współczesnej (w znaczeniu Falkowskiego, 1975). Koncentracja wielkich wód na powierzchni tarasu zalewowego spowodowała też powstanie form o zróżnicowanej budowie litologicznej. Proces ten przebiega także współcześnie w wyniku awarii budowli ochrony przeciwpowodziowej, do których dochodzi w tych samych strefach (Falkowski, 2007).

Proces przeobrażania powierzchni tarasu zalewowego spowodował zatem także zróżnicowanie właściwości geochemicznych, w tym koncentracji metali ciężkich, osadów budujących powierzchnię tarasu zalewowego (jego poszczególne formy). Najniższe zawartości badanych metali ciężkich wykazują osady budujące strefę tarasu współczesnego (D) oraz strefy erozyjnych rynien przepływów wezbraniowych (C). Dynamiczny przepływ wielkich wód usunął i częściowo pogrzebał pod współczesnymi aluwiami facji korytowej gliniaste mady z okresu meandrowania Wisły. Ostaniec tych mad stwierdzili autorzy w rejonie ujścia Radomki, w strefie korytovej Wisły, na głębokości około 3 m poniżej poziomu średniej wody. Osady budujące taras współczesny zawierają mniejsze ilości metali ciężkich niż mady rzeki mean-



Tabela 2

**Współczynniki korelacji zawartości metali ciężkich w osadach doliny Wisły  
w okolicach Magnuszewa**

Correlation matrix of heavy metals in Vistula River valley deposits  
in Magnuszew area

	fi	Iz	Sr	Ba	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As
fi	1,00												
Iz	-0,27	1,00											
Sr	0,08	0,85	1,00										
Ba	0,56	0,05	0,26	1,00									
Ti	0,76	-0,09	0,23	0,70	1,00								
V	0,90	-0,08	0,30	0,45	0,66	1,00							
Cr	0,86	-0,13	0,23	0,46	0,61	0,96	1,00						
Co	0,81	-0,22	0,13	0,68	0,71	0,84	0,90	1,00					
Ni	0,79	-0,19	0,14	0,65	0,61	0,86	0,93	0,98	1,00				
Cu	0,85	-0,04	0,29	0,39	0,55	0,96	0,89	0,74	0,79	1,00			
Zn	0,81	-0,20	0,17	0,29	0,52	0,93	0,96	0,85	0,86	0,84	1,00		
Pb	0,34	0,74	0,86	0,30	0,32	0,56	0,48	0,35	0,39	0,62	0,40	1,00	
As	0,69	0,39	0,64	0,52	0,60	0,83	0,84	0,75	0,75	0,75	0,76	0,81	1,00

współczynnik korelacji jest statystycznie istotny ( $p < 0,05$ )  
correlation coefficients are statistically significant ( $p$ -value  $< 0,05$ )

drującej, co w przypadku ołowiu i strontu wiąże się z faktem, że ich koncentracje zależą głównie od zawartości substancji organicznej. Podobnie niskie zawartości badanych pierwiastków występują w obrębie utworów głównych kanałów przepływów powodziowych. Ze względu na piaszczysty charakter osadów budujących te strefy koncentracje Cr, Co, Ni, Cu, V, As i Zn są w nich najniższe. Stabilne warunki sedymentacji spowodowały także najmniejsze zróżnicowanie uzyskanych wyników zawartości badanych metali ciężkich.

U wylotu rynien przelewowych uformowały się stożki wód wezbraniowych. W warunkach zamierania przepływu osadziły się utwory o dużej zawartości frakcji ilowej i substancji organicznej. Spowodowało to podwyższenie koncentracji wszystkich badanych metali ciężkich. Jednakże ze względu na zmienność warunków sedymentacji, a przez to dużą zmienność zawartości minerałów ilastych, zakres uzyskanych wyników zawartości analizowanych pierwiastków jest tam największy.

Duże zróżnicowanie litologiczne strefy A wynika z faktu, że są to osady rzeki roztokowej, deponowane w warunkach dystalnej równi zalewowej (Miall, 1996).

Wyjątkiem w obrębie stref skoncentrowanych przepływów wód wezbraniowych są włączone w trasę przepływu starorzecza, głównie ze względu na wypełniające je grunty organiczne. Koncentracja ołowiu i strontu jest tam najwyższa, gdyż wiąże się z zawartością substancji organicznej. Dynamiczne przepływy wezbraniowe przeobraziły jednak

przynajmniej górną część ich profilu, wzbogacając go w warstwy piaszczysto-pylaste. Analizy paleobotaniczne tych osadów przeprowadzone przez K. Bińkę w 2008 r. potwierdzają współczesną redepozycję górnej części ich profilu.

Osady tarasu plejstocenijskiego Wisły osadzone przez rzekę roztokową charakteryzują się dużą zmiennością zawartości frakcji ilowej. Jest to czynnik decydujący o dużym zróżnicowaniu zawartości Cr, Co, Ni, Cu, V, Zn. Ze względu na niską zawartość substancji organicznej osady te wykazują niskie koncentracje Sr i Pb.

Badania prowadzone przez autorów także w innych odcinkach doliny Wisły, a także w dolinie Bugu i w dolinie Pilicy (Falkowski, 2010; Falkowski, Ostrowski, 2010) wskazują na duże zróżnicowanie morfo- i litotwórczej działalności wielkich wód na powierzchni równi zalewowej. Szczególnie bogactwo takich form związane jest z odcinkami, na których swoboda procesów przepływu ograniczona jest obecnością w strefie korytowej kulminacji podłoża współczesnych aluwiów, zbudowanego z gruntów o większej odporności na rozmywanie. Należy przypuszczać, że z rozkładem tych form związana jest także dystrybucja metali ciężkich w osadach aluwialnych. Precyzyjna charakterystyka geochemiczna powierzchni dna dolin rzecznych na Niżu Polskim wymaga nie tylko uwzględnienia podziału tej strefy na taras madowy rzeki meandrującej i taras współczesny, ale także współczesne przeobrażenia tych powierzchni. Jaskrawym przykładem takich zależności może być odcinek doliny Wisły w okolicach Magnuszewa.

## WNIOSKI

1. Analizowany obszar tarasu zalewowego Wisły w okolicach Magnuszewa charakteryzuje się zmiennością środowisk sedimentacji i redepozycji osadów wezbraniowych.

2. Osady budujące wydzielone formy rzeźby terenu wykazują odmienne właściwości litologiczne oraz właściwości geochemiczne.

3. Koncentracje metali ciężkich związane są ściśle z morfologią obszaru dolinnego.

4. Najwyższe koncentracje Cu, Co, Zn, V, Cr i Ni występują w obrębie osadów budujących stożki wód wezbraniowych uformowanych u wylotu rynien przelewowych, a przypadku Sr, Pb i As – w obrębie starorzeczy.

5. Najniższe zawartości badanych metali ciężkich występują w osadach głównych kanałów przepływów powodziowych.

6. Odtworzenie dynamiki procesów formowania powierzchni tarasu zalewowego powinno stać się elementem badań geochemicznych środowiska fluwialnego.

*Prace prowadzone były w ramach grantu MNiSW nr 4 T12B 01929 – Geomorfologiczne kryteria identyfikacji oraz oceny naturalnych, gruntowych barier izolacyjnych na wybranych obszarach Polski Środkowej, oraz grantu MNiSW nr 2 P04E 06929 – Znaczenie czynników morfogenetycznych w kształtowaniu różnorodności siedliskowej wybranych odcinków dolin rzek na Niziu Polskim.*

## LITERATURA

- ASSELMAN N.E.M., MIDDELKOOP H., 1995 — Floodplain sedimentation: quantities, patterns and processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, **20**: 481–499.
- BRADLEY S.B., COX J.J., 1990 — The significance of the floodplain to the cycling of metals in the river Derwent catchment, UK. *Sci. Total Environ.*, **66**: 135–153.
- CISZEWSKI D., 2003 — Heavy metals in vertical profiles of the middle Odra river overbank sediments: evidence for pollution changes. *Water, Air, Soil Pollut.*, **143**: 81–98.
- CISZEWSKI D., MALIK I., WARDAS M., 2004 — Uwarunkowania geomorfologiczne migracji metali ciężkich w osadach fluwialnych: dolina Małej Panwi. *Prz. Geol.*, **52**, 2: 163–174.
- CONDE BUENO P., BELLIDO E., MARTÍN RUBÍ J.A., JIMÉNEZ BALLESTA R., 2009 — Concentration and spatial variability of mercury and other heavy metals in surface soil samples of periurban waste mine tailing along a transect in the Almadén mining district (Spain). *Environ. Geol.*, **56**: 815–824.
- DOBZJAŃSKI B., SIUTA J., STRZEMSKI M., WITEK T., ZAWADZKI S., 1973 — Zarys charakterystyki gleb Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- DUDKA S., 1992 — Ocena całkowitych zawartości pierwiastków głównych i śladowych w powierzchniowej warstwie gleb Polski. IUNG, Puławy.
- FALKOWSKA E., FALKOWSKI T., 2010 — Właściwości sorpcyjne utworów wezbraniowych na tarasie zalewowym doliny środkowej Wisły w okolicach Magnuszewa w świetle morfogenezy form fluwialnych. *Prz. Nauk. Inż. Środ.*, **48**, 2: 35–48.
- FALKOWSKI E., 1971 — Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. *Biul. Geol. UW*, **12**.
- FALKOWSKI E., 1975 — Variability of channel processes of lowland rivers in Poland and changes of the valley floors during the holocene. *Biul. Geol. UW*, **19**: 45–78.
- FALKOWSKI E., 1982 — Some regularities of the valley floor evolution of the Middle Vistula river valley. *W: Evolution of the Vistula river valley during the last 15 000 years* (red. L. Starkel). *Geogr. Stud., Sp. Issue*, **1**: 9–20.
- FALKOWSKI T., 2006 — Naturalne czynniki stabilizujące wybrane odcinki strefy korytowej Wisły środkowej. Rozprawy Naukowe i Monografie. SGGW, Warszawa.
- FALKOWSKI T., 2007 — Geomorphological analysis of the Vistula River valley in evaluating the safety of regulation structures. *Acta Geol. Pol.*, **57**, 3: 377–390.
- FALKOWSKI T., 2010 — Basement of the alluvia influence on the channel pattern in example of selected reach of the Pilica River. *Ann. WAU, Land Reclamation*, **42**, 1: 93–104.
- FALKOWSKI T., OSTROWSKI P., 2010 — Morfogeneza powierzchni tarasu zalewowego Wisły w okolicach Magnuszewa w obrazie zdjęć satelitarnych i lotniczych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, **9**: 89–100.
- FALKOWSKI T., POPEK Z., 2000 — Zones of ice-jams formation on the Middle Vistula River reach in relation to variable of river valley morphology. *Ann. WAU, Land Reclamation*, **30**: 77–90.
- FORSTNER U., WITTMAN G.T.W., 1983 — Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin.
- GACKA-GRZESIKIEWICZ E. (red.), 1995 — Korytarz ekologiczny doliny Wisły. Stan – Funkcjonowanie – Zagrożenia. Fundacja IUCN Poland.
- GALÁN E., FERNANDEZ-CALIANI J.C., GONZALES I., APARICIO P., ROMERO A., 2008 — Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of South-West Spain. *J. Geochem. Explor.*, **98**: 89–106.
- GEBICA P., SOKOŁOWSKI T., 2001 — Sedimentological interpretation of crevasse splays formed during the extreme 1997 flood in the upper Vistula River Valley (south Poland). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **71**: 53–62.
- GRAF W.L., CLARK S.L., KAMMERER M.T., LEHMAN T., RANDALL K., SCHROEDER T.R., 1991 — Geomorphology of heavy metals in the sediments of Queen Creek, Arizona, USA. *Catena*, **18**: 567–582.
- HELIOS-RYBICKA E., 1986 — Rola minerałów ilastych w wiązaniu metali ciężkich przez osady górnej Wisły. *Zesz. Nauk. AGH*, **32**: 1–121.

- HOROWITZ A.J., 1991 — A primer on sediment-trace element chemistry. 2nd ed. Lewis Publ. Comp., Michigan.
- KARABON J., 1980 — Morfogenetyczna działalność wód wezbraniowych związana z zatorami lodowymi w dolinie Wisły Środkowej. *Prz. Geol.*, **28**, 9: 512–515.
- KOZARSKI S., ROTNICKI K., 1977 — Valley floors and changes of river channel patterns in the North Polish Plain during the Late Wurm and Holocene. *Quaest. Geogr.*, **4**: 51–93.
- KRUMBEIN W.C., 1937 — Sediments and exponential curves. *J. Geol.*, **45**: 577–601.
- KYZIOŁ J., 1994 — Minerale ilaste jako sorbenty metali ciężkich. *Prace i Studia*, **43**: 1–89.
- LEWIN J., MACKLIN M.G., 1987 — Metal mining and floodplain sedimentation in Britain. *W: International geomorphology* (red. V. Gardiner): 1009–1027. Wiley, London.
- LIS J., PASIECZNA A., STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., LEWANDOWSKI P., 1997 — Geochemical and radioactivity mapping in Poland. *J. Geochem. Explor.*, **60**: 39–53.
- MACKLIN M.G., 1996 — Fluxes and storage of sediment-associated heavy metals in floodplain systems: assessment and river basin management issues at a time of rapid environmental change. *W: Floodplain processes* (red. M.G. Anderson, D.E. Walling, P. Bates): 441–460. Wiley, Chichester.
- MARRON D.C., 1989 — Physical and chemical characteristics of a metal-contaminated overbank deposit, west-central South Dakota, U.S.A. *Earth Surf. Process. Landforms*, **14**: 419–432.
- MIALL A.D., 1996 — The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Springer.
- MILLER J.R., 1997 — The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. *J. Geochem. Explor.*, **58**: 101–118.
- MYŚLIŃSKA E., 1984 — Kryteria oceny inżyniersko-geologicznych właściwości mad. *Kwart. Geol.*, **28**, 2: 143–162.
- MYŚLIŃSKA E., 2001 — Badania laboratoryjne gruntów. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., 1978 — Rozwój rzeźby fluwialnej północno-zachodniej części Kotliny Sandomierskiej w świetle badań sedymentologicznych. Rozprawy UW., Warszawa.
- PETTERSSON C., HAKANSSON S., KARLSSON S., ALLARD B., 1993 — Metal speciation in a humic surface water system polluted by acidic leachates from a mine deposit in Sweden. *Water Res.*, **27**, 5: 863–871.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 4.10.2002 w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. 2002 Nr 165. poz. 1359.
- SALONEN V.-P., KORKKA-NIEMI K., 2007 — Influence of parent sediments on the concentration of heavy metals in urban and suburban soils in Turku, Finland. *Appl. Geochem.*, **22**: 906–918.
- SARNACKA Z., 1980a — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Magnuszew. Inst. Geol., Warszawa.
- SARNACKA Z., 1980b — Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Magnuszew. Inst. Geol., Warszawa.
- SARNACKA Z., 1982 — Stratygrafia i charakterystyka litologiczna osadów czwartorzędowych rejonu doliny Wisły na południe od Warszawy. *Biul. Inst. Geol.*, **337**: 143–198.
- STARKEL L., 1983 — The reflection of hydrologic changes in fluvial environment of the temperate zone during the last 15 000 years. *W: Background to paleohydrology* (red. J. Gregory): 213–234. J. Wiley, Chichester.
- STARKEL L., 1994 — Frequency of floods during the Holocene in the upper Vistula basin. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcanica*, **27/28**: 3–13.
- STARKEL L., 2001 — Historia doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś. Monografie IGIPZ PAN, 1. Warszawa.
- SZUMAŃSKI A., 1986 — Postglacjalna ewolucja i mechanizm transformacji dna doliny dolnego Sanu. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, **12**, 1: 5–92.
- TAYLOR M.P., 1996 — The variability of heavy metals in floodplain sediments: a case study from mid Wales. *Catena*, **28**: 71–87.
- WALLING D.E., OWENS P.N., CARTER J., LEEKS G.J.L., LEWIS S., MEHARG A.A., WRIGHT J., 2003 — Storage of sediment-associated nutrients and contaminants in river channel floodplain systems. *Appl. Geochem.*, **18**: 195–220.
- VELDE B., 1995 — Origin and mineralogy of clays (clays and the environment). Springer, Berlin.
- WOLFENDEN P.J., LEWIN J., 1977 — Distribution of the metal pollutants in active stream sediments. *Catena*, **4**: 309–317.
- WYŻGA B., CISZEWSKI D., 2010 — Hydraulic controls on the entrapment of heavy metal-polluted sediments on a floodplain of variable width, the upper Vistula River, southern Poland. *Geomorphology*, **117**: 272–286.
- ZIELIŃSKI T., 2000 — Sedymentologiczne skutki powodzi 1997 i 1998 roku w dorzeczu górnej Nysy Kłodzkiej. *W: Dynamiczna ocena i prognoza geologicznych zagrożeń wywołanych powodzią, na przykładzie Nysy Kłodzkiej, górnej Soły i górnego Sanu-Solinki* (red. S. Ostaficzuk): 105–136. IGSMiE PAN, Kraków.
- ZWOLIŃSKI Z., 1992 — Sedimentology and geomorphology of overbank flows on meandering river floodplains. *Geomorphology*, **4**: 367–379.

## SUMMARY

The heavy metals content is being considered as one of the most important indicators of industry influence on river valleys environment. Their presence in deposits built up upper part of alluvial fill of the river valley is mostly connected with the smallest particles of both kinds – organic as well as mineral which are being transported in suspensions and deposited during the flood events. The concentration of heavy

metals in flood facies profile registered fluctuation of its delivery from the upper course of the river, as well as its activation after alluvia erosion. The content of the heavy metals in particle layer of the flood alluvia depends also on position of the tested point against morphodynamic zones of the floodplain.

Investigations were carried out in the middle Vistula River Valley reach near Magnuszew (Central Poland). The litholo-

gical differentiations of surface deposits are the results of Pleistocene/Holocene – (braided to meandering) as well as Holocene (meandering to braided, “wild”) transition of Vistula fluvial system. Contemporary changes of river morphodynamic started in the case of Middle Vistula valley about 0,3 ka BP were induced by man impact on the hydrological regime and was revealed in increase of high waters discharge. The specificity of analyzed area is, that dynamic of the flood waters flow is determined also by the contemporary alluvia substratum, built up with erosion resistant deposits and formed morphological protrusion in the channel zone. Restriction of the bed erosion of high waters in such places is the reason of the flood flow differentiation. On the valley

bottom in the vicinity of Magnuszew six (important for geochemical consideration) zones were distinguished: A – area of meandering river floodplain, B – alluvial fans (crevasse splays) zones, C – flood waters erosional troughs (crevasse-ses), D – contemporary terrace of braided (“wild”) river, E – oxbow-lakes zones and F – upper terrace of braided, Pleistocene river. The highest contents of Cu, Co, Zn, V, Cr and Ni are observed in deposits built up alluvial fan (crevasse-splay) zones. The highest content of Sr, Pb i As is detected in deposits filled up transformed oxbow lakes. The lowest content of heavy metals was detected in flood flow channel zones (crevasse-ses of different size and other erosion troughs).