

TOMASZ FALKOWSKI¹, MARCIN GÓRKA²

¹Katedra Geoinżynierii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
²Instytut Geologii Podstawowej
Uniwersytet Warszawski

STRUKTURY SEDYMENTACYJNE WSPÓLCZESNYCH OSADÓW RZECZNYCH I ICH PRZYDATNOŚĆ W PROJEKTACH ZAGOSPODAROWANIA DOLIN NA NIŻU POLSKIM*

Streszczenie. Zasadą prowadzonych w ramach naturalnej regulacji czy renaturyzacji rzek projektów jest uwzględnianie cech środowiska przyrodniczego analizowanego odcinka. Wskaźnikiem określonej dynamiki i zmienności przebiegu procesów fluwialnych na danym odcinku doliny jest morfologia powierzchni tarasowej oraz litologia deponowanych osadów. Precyzyjną metodą oceny skali i koncentracji procesów erozji i depozycji w historii danego odcinka strefy korytowej jest także analiza struktur sedymentacyjnych.

Słowa kluczowe: osady rzeczne, struktury sedymentacyjne, inżynieria rzeczna

Wstęp

Zagospodarowanie dolin rzecznych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju wymaga uwzględniania w projektach zagospodarowania nie tylko stanu aktualnego, lecz także aktualnych tendencji w przebiegu procesów fluwialnych. Ich rozpoznanie umożliwia konstruowanie wiarygodnych geologiczno-inżynierskich prognoz dotyczących zmian morfologii koryta czy bezpieczeństwa i stabilności elementów związanej z korytem infrastruktury.

Do oceny aktualnego stanu środowiska geologicznego powierzchni dna doliny szczególnie przydatna okazała się analiza morfologiczna powierzchni tarasowych.

*Badania prowadzono w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego – projekt nr 2 P04E 069 29.

Na podstawie cech ich reliefu (co jest szczególnie wyraźnie widoczne na zdjęciach lotniczych czy satelitarnych) można wydzielać obszary dna doliny uformowane przez rzekę o określonym reżimie hydrologicznym (typie rozwinięcia koryta), z którym z kolei związany jest określony typ profilu litologicznego budujących poziom tarasowy osadów (FALKOWSKI 1971, SZUMAŃSKI 1986, KOZARSKI 1983, KOZARSKI i ROTNICKI 1977). Aluwia konkretnej facji deponowane przez rzekę o odmiennym typie rozwinięcia koryta różnią się także pod względem cech gruntoznawczych czy parametrów geotechnicznych (MYŚLIŃSKA 1984, KRAUŻLIS i IN. 2003). W cechach morfologii powierzchni tarasowej i w litologii aluwii zakodowane są elementy reżimu hydrologicznego rzeki w różnych fazach ewolucji środowiska fluwialnego. Analiza geomorfologiczna powierzchni tarasowej umożliwia precyzyjne ich odczytywanie (ROTNICKI 1991).

Precyzyjne odtwarzanie przebiegu procesów fluwialnych umożliwia analiza sedimentologiczna. Zazwyczaj badania takie są prowadzone w celu odtworzenia warunków depozycji osadów kopalnych (GRADZIŃSKI 1973, MIALLA 1996, ZIELIŃSKI 1998). Zastosowanie analizy sedimentologicznej może ułatwić także określenie tendencji przebiegu procesów korytowych współcześnie (ZIELIŃSKI 2000, FALKOWSKI 2006). Widoczne w brzegach koryta (w tzw. zerwach brzegowych) struktury sedimentacyjne dostarczają informacji o dynamice przepływu wód w czasie wezbrań, kiedy to obserwacje procesów fluwialnych z różnych względów (także bezpieczeństwa) są bardzo utrudnione.

Struktury sedimentacyjne

(na podstawie GRADZIŃSKIEGO 1973, MIALLA 1996, ZIELIŃSKIEGO 1998)

Podstawowym elementem rozpoznawanym w profilu osadów są litofacje – zestawy warstw i lamin (ZIELIŃSKI 1998), do których określenia używa się symboli kodu litofacyjnego. Symbole kodu litofacyjnego określają litologię (frakcję) osadu oraz występujące w nim struktury sedimentacyjne. W przypadku występowania pakietów składających się z kilku litofacji określa się je jako *zespoły litofacji*. Zespoły litofacji odpowiadają określonemu typowi transportu i depozycji, które z kolei są związane z ustrojem prądu i charakterem deponowanego materiału.

Wśród struktur sedimentacyjnych wyróżnia się laminację poziomą i falistą (brak przepływu, dno płaskie, sedimentacja z zawiesiny), przekątną laminację ripplemarków wstępujących (powolny przepływ, depozycja z zawiesiny i transportu przydennego drobnych frakcji), przekątną laminację ripplemarkową (depozycja drobnych frakcji z transportu przydennego), płaskie warstwowanie przekątne (rozległe odsypy powstające w strefach spadku nośności przepływu), warstwowanie rynnowe (powstające w warunkach rytmicznego transportu, któremu towarzyszy częściowe rozmywanie powstających zmarszczek – megaripplemarków), przekątne warstwowanie małokątowe (płaskie formy dna większych prędkości), warstwowanie poziome (depozycja w strefie przydennej z zawiesiny w warunkach dużych prędkości).

W obrębie pełni ukształtowanego koryta daje się wyróżnić cały szereg różniących się skalą form depozycyjnych – form dna i form koryta. Najdrobniejsze z nich, tj. formy dna małej skali (tzw. mikroformy), to ripplemarki (zmarszczki) i ripplemarki wstępujące. Mikroformy nie przekraczają zwykle swoimi rozmiarami wysokości kilku centymetrów i na powierzchni dna rozwijają się na formach dna wyższego rzędu (mezoformy).

Do tych ostatnich zalicza się m.in. megaripplemarki, pręgi, pręgi wsteczne (antywydmy). Do form depozycyjnych najwyższego rzędu zalicza się formy koryta oraz duże formy strefy pozakorytowej (tzw. makroformy), takie jak: odsypy, nasypy, łachy stożki krewasowe i wały przykorytowe. Z uwagi na fakt, że na powierzchni form depozycyjnych wyższego rzędu występują najczęściej formy niższych rzędów, łatwo skonstatować, iż z reguły wraz ze wzrostem rozmiarów formy dna rośnie też często stopień złożoności budowy wewnętrznej, rozpatrywanej z punktu występowania struktur sedimentacyjnych (a więc również zróżnicowania litofacjalnego).

Na obszarze centralnej Polski do najpowszechniej występujących typów rzek należą piaskodenne rzeki meandrujące oraz piaskodenne rzeki roztokowe.

W przypadku tych pierwszych do głównych form depozycyjnych koryta należą odsypy meandrowe. Typowy profil odsypu meandrowego rozpoczyna się zwykle powierzchnią erozyjną pokrytą brukiem korytowym, powyżej której występuje piaszczysty człon dolnej części odsypu o warstwowaniach przekątnych dużej skali, które ku górze przechodzą w zestawy warstwowane poziomo lub o laminacji ripplemarkowej. Górna część profilu odsypu meandrowego charakteryzuje się obecnością osadu o drobniejszym ziarnie z zespołami płaskich warstwowań przekątnych, warstwowań poziomych i niskokątowych.

W odcinkach międzymeandrowych koryto przybiera niemal prosty przebieg. Do głównych form depozycyjnych należą tu megaripplemarki i ripplemarki, lokalnie także formuje się płaskie dno. Występujące tu struktury sedimentacyjne to głównie przekątne warstwowanie rynnowe, przekątna laminacja ripplemarkowa oraz warstwowanie poziome.

Poza strefą korytową w obrębie doliny rzeki meandrującej występuje równia zalewowa. W obrębie równi zalewowej przykorytowej w czasie wezbrań występuje przepływ, dochodzi tu do transportu i depozycji osadów piaszczystych. Tworzy się tu bardzo charakterystyczna forma, jaką jest wał przykorytowy. W jego obrębie występuje zwykle laminacja pozioma lub ripplemarkowa, ku górze profilu pojawiają się przekątne laminacje ripplemarków wstępujących, powyżej zaś – również przelawienia mułów o laminacji smużystej, poziomej lub masywnej.

Na obszarze zewnętrznej równi zalewowej podczas wezbrań panują zwykle warunki słabych przepływów, a nawet stagnowania wód. W efekcie jest tu deponowany materiał najdrobniejszych frakcji, wśród struktur sedimentacyjnych zaś przeważa laminacja pozioma oraz struktury masywne, nierzadko będące efektem zatarcia pierwotnych struktur osadu przez procesy biogeniczne. Spotkać też można często przejawy sedimentacji fitogenicznej.

W przypadku piaskodennych rzek roztokowych do typowych form koryta zaliczyć należy odsypy poprzeczne. Ich typową litofacją są piaski z zestawami płaskich warstwowań przekątnych dużej skali, ku górze przechodzące w drobniejsze piaski o warstwowaniach poziomych i laminacji ripplemarkowej.

Pomiędzy odsypami, w strefach kanałów międzyodsypowych, występują głównie osady piaszczyste z przekątnym warstwowaniem rynnowym. W strefach płytszych przy intensywnym przepływie powstaje górne płaskie dno z warstwowaniem poziomym, przy zmniejszeniu przepływu zaś – zmarszczki z przekątną laminacją ripplemarkową.

Równia zalewowa piaskodennej rzeki roztokowej charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem litofacjalnym. Piaski charakteryzują się zwykle warstwowaniem poziomym lub przekątną laminacją ripplemarkową, natomiast muły – laminacją poziomą

lub strukturami masywnymi. Dość częste jest również występowanie cienkich, dwuczłonowych sekwencji o normalnym uziarnieniu frakcjonalnym o następcie od piasku do mułu (iłu).

W obrębie tarasu niższego dolin rzecznych na Niziu Polskim najczęściej można wydzielić generalnie dwie strefy. Pierwszą jest taras uformowany przez rzeki o meandrowym typie rozwinięcia koryta. Drugą jest taras współczesny, formowany także obecnie przez rzekę „dziką” – roztokową (FALKOWSKI 1971, MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO 1978, KOZARSKI 1983, SZUMAŃSKI 1986, STARKEL 2001). Zmiana typu rozwinięcia koryta w trakcie formowania tarasu niższego jest związana ze zmianami środowiska przyrodniczego na obszarze zlewni tych rzek pod wpływem działalności człowieka („dziczenie rzek”, FALKOWSKI 1971).

Cel i metodyka badań

Celem badań było m.in. określenie związku pomiędzy budową geologiczną strefy korytowej i warunkowaną nią dynamiką współczesnych procesów korytowych a wykształceniem współczesnych aluwiów. Powiązanie struktur osadów budujących taras współczesny z takimi zjawiskami, jak koncentracja przepływów wód wezbraniowych, umożliwiłoby doskonalenie konstruowania geologiczno-inżynierskich prognoz, niezbędnych w sporządzaniu projektów zagospodarowania stref korytowych dolin rzecznych.

Badania prowadzono w wybranych odcinkach dolin środkowej Wisły, w dolinie Pilicy (na odcinku środkowego biegu rzeki od Inowłódza do Domaniewic), a także w dolinie Bugu na odcinku Podlaskiego Przełomu. W ramach prac wykonywano m.in. wiercenia i sondowania w powierzchni tarasu zalewowego i w korycie, echosondaż koryta, a także analizy sedimentologiczne współczesnych serii aluwialnych odsłaniających się w brzegach koryta. W opisach struktur wykorzystano kod litofacjalny Mialla (1996, za ZIELIŃSKIM 1998), który przedstawia poniższa tabela:

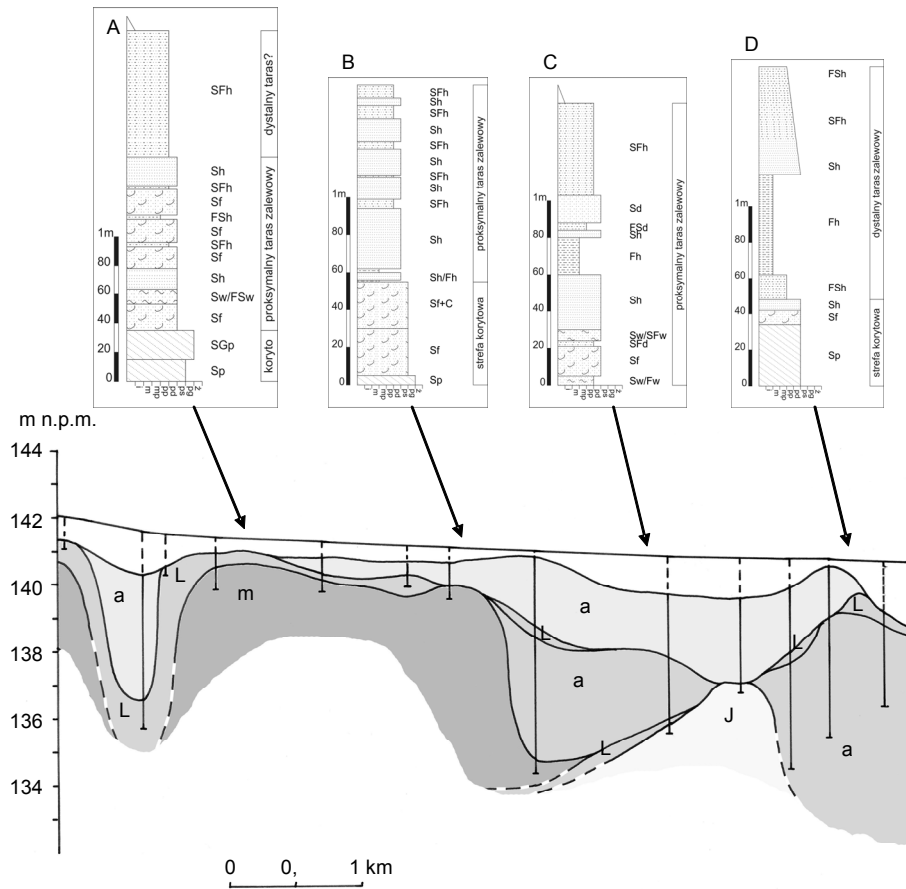
Symbole uziarnienia		Symbole struktur depozycyjnych	
symbol	znaczenie	symbol	znaczenie
<i>G</i>	Żwir	<i>m</i>	Struktura masywna
<i>GS</i>	Żwir piaszczysty	<i>l</i>	Laminacja pozioma, warstwowanie poziome
<i>SG</i>	Piasek żwirowy	<i>w</i>	Laminacja falista
<i>S</i>	Piasek	<i>f</i>	Laminacja smużysta
<i>SF</i>	Piasek mułowy (ilasty)	<i>r</i>	Przekątna laminacja ripplemarkowa
<i>FS</i>	Muł (ił) piaszczysty	<i>rc</i>	Przekątna laminacja ripplemarków wstępujących
<i>F</i>	Muł, ił	<i>x</i>	Przekątna laminacja (warstwowanie) wszelkich typów
<i>C</i>	Torf, węgiel, osad organiczny	<i>l</i>	Przekątne warstwowanie małokątowe
		<i>p</i>	Płaskie warstwowanie przekątne (tabularne i klinowe)
		<i>t</i>	Przekątne warstwowanie rynnowe

Wyniki i dyskusja

Jak dowodzą badania prowadzone w wielu dolinach rzecznych Niżu Polskiego (FALKOWSKI 2006), istotnym czynnikiem wpływającym na dynamikę współczesnych procesów korytowych jest oddziaływanie kulminacji podłoża aluwii, zbudowanego z utworów o większej odporności na rozmywanie. Formy takie odsłaniane są przez rzekę w dnie koryta w czasie przepływu wielkich wód. Ich często skomplikowana morfologia powoduje wtedy powtarzającą się koncentrację przepływu w pewnych strefach. Układ głównego nurtu w korycie jest podobny także w czasie przepływów niższych niż maksymalne (FALKOWSKI 2007).

Przykładem ilustrującym tę prawidłowość może być fragment doliny Pilicy pomiędzy Inowłodzem a Rzeczą (rys. 1). Przeprowadzone w korycie wiercenia i sondowania wykazały obecność na analizowanym odcinku kulminacji podłoża współczesnych aluwii (a_n) zbudowanego z piaskowców jurajskich (J), a także z glin zwałowych (m_p) i rezydualnych bruków (L), wykształconych na utworach plejstoceńskich: morenowych (m_p) i korytowych (a_p). W górnej części przedstawionego na rysunku odcinka podłoża aluwii tworzy kulminację odsłaniającą się w dnie koryta. W dolnej części odcinka podłoża występuje na głębokości około 4 m, pod przykryciem współczesnych aluwii. W brzegach koryta na odcinku kulminacji w aluwiach Pilicy wyróżniono dwie genetyczne serie: dolną – charakterystyczną dla środowiska koryta i górną – o cechach proksymalnej lub dystalnej równi zalewowej (profile A, B i D). Profil C charakteryzuje fragment strefy korytovej, w obrębie którego pogłębianie koryta w czasie przepływów wezbraniowych jest możliwe. W brzegach rozciętego tarasu współczesnego dominują tu struktury charakterystyczne dla równi zalewowej. Podobne zjawisko zaobserwowano także na odcinku strefy korytovej Bugu w okolicach Mielnika. Kulminacje podłoża aluwii budują tam podobnie jak w przypadku doliny Pilicy osady morenowe, rezydualne bruki, a także tworząca glacitektoniczne fałdy kreda pizująca (jest ona w Mielniku eksploatowana).

Na koncentrację przepływów wezbraniowych wywołaną oddziaływaniem podłoża wskazują odnawiane przez kolejne wezbrania rynny erozyjne (FALKOWSKI 2006). Formy te w różnym stopniu są rozpoznawalne na powierzchni tarasu zalewowego. Dodatkowym kryterium prognozowania powtarzalności takich zjawisk może być także analiza współczesnych struktur sedimentacyjnych. Przykładem jest odcinek strefy korytovej Wisły środkowej w okolicach Kozienc (rys. 2). Występująca tu kulminacja podłoża aluwii zbudowanego z utworów preglacialnych (piasków i żwirów, FALKOWSKI 2007) powoduje spychanie głównego nurtu na północ. Śladem tej tendencji jest zespół śladów erozji wód wezbraniowych widoczny na powierzchni tarasu na prawo od koryta. Formę taką wykorzystuje w odcinku ujściowym rzeka Okrzejka. O koncentracji przepływu wód wezbraniowych świadczą także struktury sedimentacyjne deponowanych przez nie aluwii. W profilu osadów odsłaniających się w brzegu koryta dominują struktury charakterystyczne dla środowiska koryta.



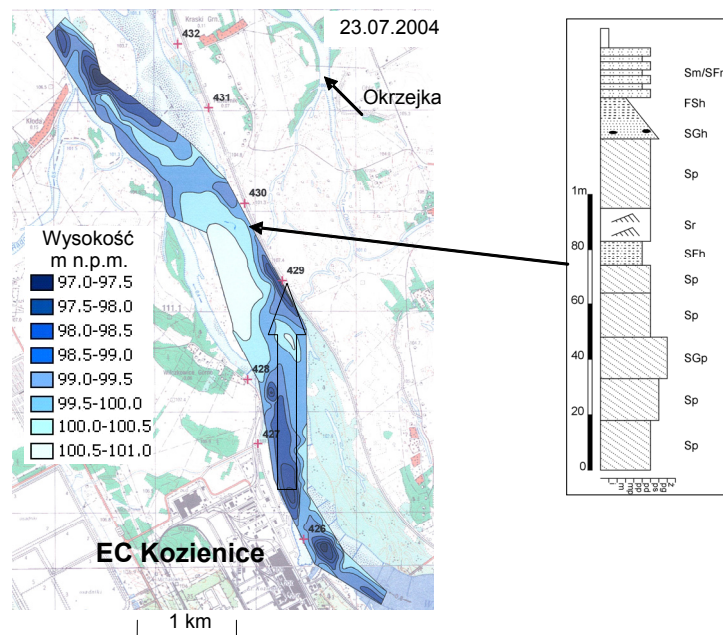
Rys. 1. Przekrój podłużny odcinka strefy korytowej Pilicy w okolicach Rzeczyca (środkowy bieg) oraz struktury sedimentacyjne współczesnych osadów odłaniających się w brzegach koryta; objaśnienia podano w tabeli, w tekście

Fig. 1. Longitudinal cross-section of the Pilica River channel zone in the vicinity of Rzeczyca (middle course) with contemporary alluvia depositional structures; a_h – contemporary channel alluvia, a_p – Pleistocene channel alluvia, m_p – moraine deposits, L – residual lags, J – Jurassic sandstones

Podsumowanie

Jedną z zasad naturalnej regulacji rzek (ŻBIKOWSKI i ŻELAZO 1993) jest w miarę możliwości jak najszersze wykorzystywanie w projektach regulacji koryt naturalnych, wynikających np. z budowy geologicznej doliny, tendencji do kształtowania się ich układu. Praktyka taka może zagwarantować większą stabilność przebiegu trasy regulacyjnej oraz umożliwić znaczącą redukcję kosztów zabudowy koryta. Jak dowodzą przedstawione przykłady, struktury sedimentacyjne współczesnych osadów, w których zapisane są warunki przepływu i depozycji, mogą być pomocne w odczytywaniu takich tendencji.

Falkowski T., Górka M., 2009. Struktury sedimentacyjne współczesnych osadów rzecznych i ich przydatność w projektach zagospodarowania dolin na Niżu Polskim. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #81.



Rys. 2. Mapa hipsometryczna fragmentu koryta Wisły poniżej Kozenic (rejon ujścia Okrzejki) oraz struktury sedimentacyjne współczesnych osadów; strzałka wskazuje strefę koncentracji głównego nurtu

Fig. 2. Hypsometry of the Vistula channel zone downstream Kozenice in the vicinity of the Okrzejka River mouth (Middle Vistula River) with contemporary alluvia depositional structures; arrow shows main stream direction

Literatura

- FALKOWSKI E., 1971. Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. *Biul. Geol.* 12: 5-121.
- FALKOWSKI T., 2006. Naturalne czynniki stabilizujące wybrane odcinki strefy korytowej Wisły środkowej. *Rozpr. Nauk. Monogr. SGGW* 312.
- FALKOWSKI T., 2007. The application of geomorphological analysis of the Vistula River, Poland in the evaluating of the safety of regulation structures. *Acta Geol. Pol.* 57, 3: 377-390.
- GRADZIŃSKI R., 1973. Wyróżnianie i klasyfikacja kopalnych osadów rzecznych. *Post. Nauk Geol.* 5: 57-112.
- KOZARSKI S., 1983. River channel adjustment to climatic change in west central Poland. W: *Background to paleohydrology*. Red. K. Gregory. Wiley, Chichester: 355-374.
- KOZARSKI S., ROTNICKI K., 1977. Valley floors and changes of river channel patterns in the North Polish Plain during the Late Wurm and Holocenel. *Quaest. Geogr.* 4: 51-93.
- KRAUZLIS K., LASKOWSKI K., WÓJCIK E., 2003. Variability of engineering geological parameters in flood facies sediments. *Geol. Q.* 47, 28: 143-162.
- MIALL A.D., 1996. *The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Springer, Berlin.
- MYCIELSKA-DOWGIALLO E., 1978. Rozwój rzeźby fluwialnej północno-zachodniej części Kotliny Sandomierskiej w świetle badań sedimentologicznych. *Rozpr. Uniw. Warsz.* 120.

- MYŚLIŃSKA E., 1984. Kryteria oceny inżyniersko-geologicznych właściwości mad. *Kwart. Geol.* 28: 143-162.
- ROTNICKI K., 1991. Retrodiction of paleodischarges of meandering and sinuous alluvial rivers and its paleoclimatic implications. W: Starkel L., Gregory K.J., Thorne J.B.: *Temperate paleohydrology*. Wiley, Chichester: 431-471.
- STARKEL L., 2001. Historia doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś. *Monogr. Inst. Geogr. Przestrz. Zagosp. PAN* 1.
- SZUMANSKI A., 1986. Postglacjalna ewolucja i mechanizm transformacji dna doliny Dolnego Sanu. *Zesz. Nauk. AG-H, Krak. 12, Geol.* 1: 5-92.
- ZIELIŃSKI T., 1998. Litofacjalna identyfikacja osadów rzecznych. W: *Struktury sedimentacyjne i postsedymantacyjne w osadach czwartorzędowych i ich wartość interpretacyjna*. Red. E. Mycielska-Dowgiałło. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa: 193-260.
- ZIELIŃSKI T., 2000. Sedymantologiczne 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. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków: 105-136.
- ŻBIKOWSKI A., ŻELAZO J., 1993. Ochrona środowiska w budownictwie wodnym. *Materiały informacyjne*. MOŚZNiL, Warszawa.
- ŻELAZO J., 1992. Regulacja rzek a ochrona środowiska. W: *XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Międzyzdroje 21-25 września. Materiały Szkoły*. Red. W. Majewski. Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk: 69-81.
- ŻELAZO J., POPEK Z., 2002. *Podstawy renaturyzacji rzek*. Wyd. SGGW, Warszawa.

SEDIMENTARY STRUCTURES AND THEIR USEFULNESS IN THE POLISH LOWLAND RIVER VALLEYS MANAGEMENT

Summary. Consideration of the natural features of the studied river valley reach is the principle for the river management. Morphology of the valley bottom, as well as lithology of the alluvia are the indicators of the fluvial processes specific dynamics. Sedimentary structures analysis is an additional precise method for erosion/deposition processes assessment.

Key words: alluvia, sedimentary structures, river engineering

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Tomasz Falkowski, Katedra Geoinżynierii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, Poland, e-mail: tomasz_falkowski@sggw.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

28.04.2009

Do cytowania – For citation:

*Falkowski T., Górka M., 2009. Struktury sedimentacyjne współczesnych osadów rzecznych i ich przydatność w projektach zagospodarowania dolin na Niżu Polskim. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #81.*