

TOMASZ FALKOWSKI, PIOTR OSTROWSKI

Katedra Geoinżynierii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

BUDOWA GEOLOGICZNA STREFY KORYTOWEJ WISŁY WARSZAWSKIEJ I JEJ ZNACZENIE DLA ZWIĄZANEJ Z KORYTEM INFRASTRUKTURY

Streszczenie. Dolina Wisły w Warszawie od Siekierok do Żerania to strefa występowania w korycie kulminacji podłoża aluwiiów zbudowanego głównie z utworów trudno rozmywalnych (iłóów plioceńskich, glin zwałóowych, utworóów zastoiskóowych, a także plejstóceńskich osadóów rzecznóych). Ich obecność wpływa na stabilizację erozji wgłębnej oraz różnicowanie stref depozycyjnych w korycie. Obserwowane w dłuższym okresie zmiany poziomu dna koryta dotyczą tylko serii współczesnych osadóów korytowych.

Słówa kluczóowe: koryto Wisły, kulminacja podłoża aluwiiów, procesy erozyjne

Wstęó

Według klasycznych koncepcji rozwoju środowiska fluwialnego (DAVIS 1899, GILBERT 1880, JOHNSON 1932, MACKIN 1948) doliny rzeczne na obszarach nizinnych są formami pod względem geomorfologicznym dojrzałymi. Wskaźnikami dojrzałości są przede wszystkim rozwinięty cokół erozyjny wypełniony drobnoziarnistymi aluwiami oraz profil podłużny formy, bliski profilowi równowagi (GILBERT 1880). Inaczej jest na obszarze Niziu Polskiego. Jego morfologia kształtowana była przez procesy związane z transgresjami i zanikiem pokrywy lodowej lądolodóów skandynawskich. Poczynając od zlodowacenia Sanu 2 (około 470 tys. lat BP; LINDNER 1992, RÓŻYCKI 1972), ślady maksymalnych zasięgóów lądolodóów kolejnych zlodowaceń znajdują się coraz dalej na północy, dlatego rzeki płynące generalnie na północ mają często w dolnym biegu najmłodsze odcinki swoich dolin. Brak dojrzałości form aluwialnych jest cechą rzeźby obszaru północnej Polski (SYLWESTRZAK 1978, FLOREK 1991, BŁASZKIEWICZ i KRZYMIŃSKA 1992).

Skomplikowana geneza dolin rzecznych na Niziu Polskim (np. FALKOWSKI i IN. 1987) ma swoje odzwierciedlenie w budowie geologicznej form, które można analizować wyłącznie w podziale na odmienne odcinki. Powtarzającym się elementem budowy

geologicznej dolin są występujące w strefie korytowej kulminacje podłoża aluwiów, zbudowane z gruntów o większej odporności na erozję – gruntów trudno rozmywanych (FALKOWSKI 1971, 2006). Formy te stabilizują procesy erozyjne, dlatego na profilach podłużnych dna dolin zaznaczają się wyraźnym wzrostem spadków.

W rejonie Warszawy kulminacja trudno rozmywalnego podłoża aluwiów występuje od kilometra 503 do 527, na odcinku zwężenia szerokości tarasu współczesnego nazywanego „gorsetem warszawskim”. Pomimo występowania elementów stabilizujących erozję wgłębną, od końca lat czterdziestych ubiegłego wieku koryto Wisły na odcinku warszawskim ulega stałemu obniżaniu. Według KORNACKIEGO (1960), ZIELIŃSKIEJ (1960), a także ŻELAZIŃSKIEGO i IN. (2005) przyczyną tego zjawiska mogła być intensyfikacja poboru kruszywa z koryta na potrzeby budownictwa, która spowodowała wzrost energii strumienia. Niewątpliwą przyczyną zmian położenia dna Wisły warszawskiej była także eksploatacja otoczków, wydobywanych ze stropowej, rezydualnej części progów – kulminacji podłoża współczesnych aluwiów, o czym świadczą obserwacje prowadzone przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie (KONCEPCJA... 2000). Obniżenie poziomu dna jest niebezpieczne dla funkcjonujących w Warszawie ujęć wód powierzchniowych, ujęć poddennych, a także dla urządzeń hydrotechnicznej zabudowy koryta.

Material i metody

Celem prac prowadzonych na odcinku Wisły od km 508 do km 521 było określenie miąższości i litologii warstwy współczesnych aluwiów, a także położenia i litologii stropu trudno rozmywalnego podłoża aluwiów. Informacje te w konfrontacji z materiałami archiwalnymi (WIERZBICKI i IN. 1994, FALKOWSKI 2006) powinny umożliwić ocenę zakresu ewentualnych zmian morfologii koryta i warunków przepływu wód Wisły na odcinku warszawskim. W praktyce wykonywano przekroje geologiczne koryta w odstępach co 500 m (przeciętnie po trzy wiercenia w przekroju; łącznie 81 wierceń do stropu podłoża aluwiów).

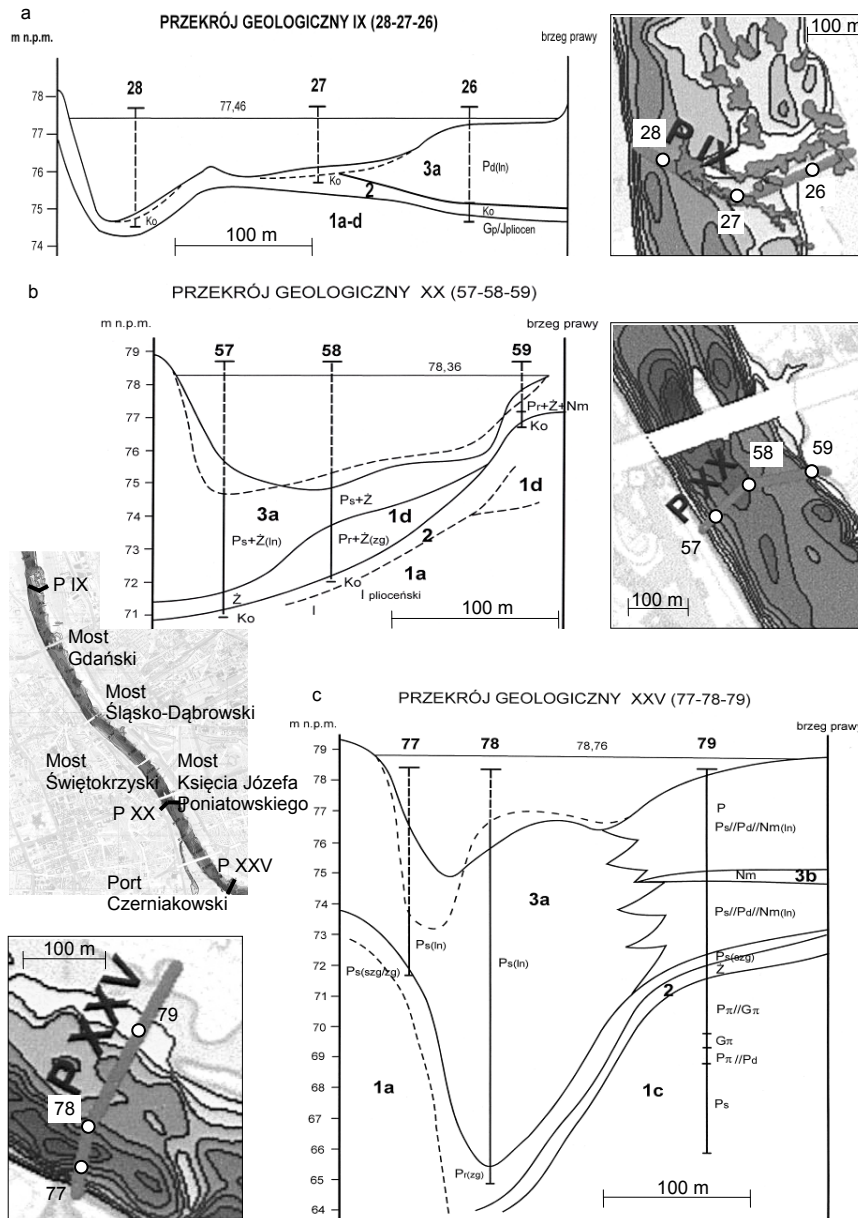
Dla określenia morfologii koryta przeprowadzono badania echosondą. W badaniach wykorzystano zestaw składający się z echosondy sprzężonej z odbiornikiem GPS, który umożliwił rejestrację głębokości koryta i współrzędnych geograficznych punktu pomiarowego co 1 s. Wyniki badań składające się z około 20 tys. punktów pomiarowych poddano obróbce komputerowej. W wyniku postprocessingu otrzymano numeryczne modele koryta, na podstawie których sporządzono mapy batymetryczne i hipsometryczne.

Rys. 1. Budowa geologiczna wybranych fragmentów koryta Wisły warszawskiej (przekroje geologiczne) na tle batymetrii koryta (mapa batymetryczna; izobaty poprowadzono co 0,5 m; na mapie a zaznaczono także strefy nagromadzenia głazów); 1a – iły plioceńskie, plejstocen, 1b – gliny zwałowe, 1c – utwory zastoisłowe, 1d – utwory rzeczne, 2 – bruk, 3 – współczesne aluwia korytowe: 3a – piaski i żwiry, 3b – piaski i namuły; dno koryta z dnia wykonywania sondowań geologicznych zaznaczono linią przerywaną

Fig. 1. Geology of chosen reaches of the Warsaw Vistula channel (geological cross sections) with the channel morphology (bathymetric maps; isobaths interval – 0.5 m; in the map a zones of boulders are marked); 1a – Pliocene clays, Pleistocene, 1b – boulder clays, 1c – ice dam deposits, 1d – channel alluvia, 2 – lag, 3 – contemporary channel alluvia: 3a – sand, 3b – sand and mud; channel bottom in the day of geological drilling is marked with dashed line

Wyniki

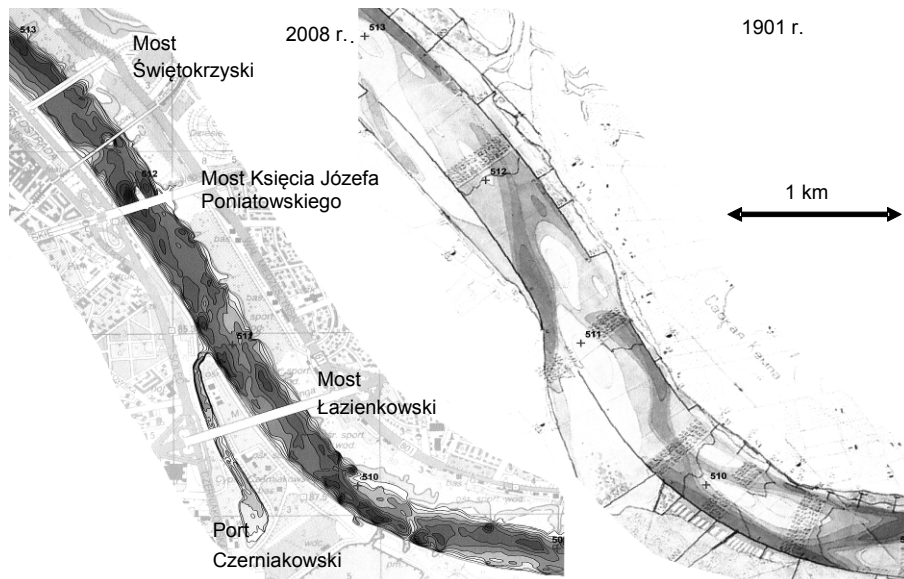
Powierzchnię trudno rozmywalnego podłoża holoceničkih aluwiiów na odcinku „gorsetu warszawskiego” budują ily plioceńskie, gliny morenowe, ily i pyły zastoiskowe (glacialne) oraz żwirry rzeczne (glacialne i interglacialne – głównie interglacjału eemskiego, SARNACKA 1992) (rys. 1).



Położenie (morfologia stropu) i stan gruntów budujących trudno rozmywalne progi świadczą o ich małej podatności na erozję. Utwory rzeczne (glacjalne i interglacjalne), a także niespoiste osady zastoiskowe (piaski drobne, piaski pylaste i pyły) są silnie zagęszczone. W iłach plioceńskich i plejstoceńskich (zastoiskowych), a także niekiedy w glinach zwałowych, w wydobywanych spod dna próbkach obserwowane były wyraźne złuskowacenia świadczące o glacitektonicznym sprasowaniu osadu. Niekiedy stropowa część utworów spoistych znajduje się w stanie miękkoplastycznym (około 0,5 m). Poniżej tej strefy grunt jest w stanie twaroplastycznym lub półzwartym. Na powierzchni stropowej podłoża współczesnych aluwiów powszechnie występują rezydualne bruki, zbudowane ze żwirów i otczaków. Lokalnie spotyka się nagromadzenie głazów. W okolicach Cytadeli (km 516-517) przy średnim stanie wody głazy odsłaniają się w korycie (rys. 1 a). Miąższość strefy rezydualnej nie przekracza zwykle 1 m.

Współczesne aluwia Wisły występujące w strefie korytowej to głównie luźne, lub średnio zagęszczone piaski średnie i drobne z przeławieniami żwiru. W strefach stagnacji przepływu w utworach sypkich pojawiają się przeławienia i wkładki namulów (rys. 1 c). W strefach morfologicznych kulminacji stropu podłoża aluwiów brak jest często pokrywy współczesnych aluwiów lub ma ona niewielką miąższość (średnio do około 1 m, rys. 1 a).

Jak wykazały przeprowadzone badania, układ głównego nurtu warunkowany jest morfologią stropu podłoża współczesnych aluwiów. Układ ten, mimo pewnych modyfikacji wynikających z oddziaływania budowli regulacyjnych, nawiązuje także do śladów



Rys. 2. Porównanie przebiegu głównego nurtu Wisły warszawskiej w roku 1901 (rosyjska mapa batymetryczna) i 2008 (mapa batymetryczna wykonana na podstawie badań echosondą w dniu 12.04.2008 r.)

Fig. 2. Comparison between the Warsaw Vistula reach main stream direction in 1901 (Russian bathymetric map) and in 2008 (derived from echo sounding in 12.04.2008)

erozji wód wezbraniowych występujących na powierzchni tarasu niskiego. Formy te dokumentują w dolinie Wisły występowanie w holocenie okresów dużej częstotliwości powodzi (STARKEL 2001, GAŚSIOROWSKI 2005). Ich powstawanie związane jest jednak także z obecnością kulminacji trudno rozmywalnego podłoża aluwii (FALKOWSKI 2006, 2007). Rynny erozyjne wód wezbraniowych zostały wykorzystane do lokalizacji portów Czerniakowskiego i Praskiego. Podobny do współczesnego układ głównego nurtu przedstawia rosyjska mapa batymetryczna z 1901 roku (rys. 2).

Dyskusja

Spośród cech koryta Wisły warszawskiej istotnych dla warunków eksploatacji związanej z korytem infrastruktury najważniejsza wydaje się stabilność jego morfologii. Występująca na odcinku „gorsetu warszawskiego” Wisły kulminacja podłoża współczesnych aluwii zbudowana z utworów o większej odporności na rozmywanie świadczy o stabilizacji cokołu erozyjnego na tym odcinku. Szczególne znaczenie dla stabilności formy, poza odpornością gruntów (skomprimowanych utworów spoiwych, takich jak ropy plejstoceńskie, gliny zwałowe i ropy zastoiskowe czy silnie zagęszczone, gruboziarniste aluwia plejstoceńskie), mają także występujące na ich powierzchni rezydualne bruki zbudowane ze żwirów i otoczków, a w pewnych strefach także z dużych głazów. Bruki te tworzą zaznaczające się w korycie progi i „rafy”, pełniące funkcje lokalnych baz erozyjnych. Z ukształtowaniem powierzchni podłoża związana jest trwałość układu głównego nurtu. Porównanie przekrojów koryta z wielolecia (WIERZBIŃSKI 1994) z wykonanymi przekrojami geologicznymi dowodzi, że jego morfologia ulega zmianom w trakcie przemieszczania się przez analizowany odcinek makro- i mezofarm depozycyjnych. Zmiany te są najbardziej intensywne w czasie przepływu wielkich wód, ale obserwowano je także w czasie długotrwałych niżówek (OSTROWSKI 2004, FALKOWSKI i OSTROWSKI 2005). Największym zagrożeniem dla stabilności profilu podłużnego Wisły warszawskiej są prace ziemne w korycie, polegające na niszczeniu warstwy rezydualnej. Intensywna eksploatacja głazów z koryta Wisły przyczyniła się do obniżenia dna koryta w skrajnych przypadkach nawet o blisko 4 m (KONCEPCJA... 2000). Jak wynika z porównania przeprowadzonych w korycie w 2008 roku wierceń z wynikami wcześniejszych badań (FALKOWSKI i IN. 1992, FALKOWSKI 2006), morfologia podłoża aluwii nie uległa w ostatnich latach znaczącym zmianom. Obserwowane obniżanie się średniego poziomu dna koryta (KORNACKI 1960, ZIELIŃSKA 1960, DOBROWOLSKI 1995, ŻELAZIŃSKI i IN. 2005) przebiega jedynie w obrębie warstwy współczesnych, luźnych aluwii.

W km 510 w rejonie Ujęcia Czerniakowskiego pod lewym brzegiem koryta stwierdzono w trakcie badań głęboką rynnę wyciętą w trakcie prac pogłębiarskich w utworach pliocenu (rys. 1 c). Stropu trzeciorzędu nie osiągnięto w obrębie tej rynny do rzędnej około 65 m n.p.m. (na prawym brzegu strop pliocenu znajduje się na rzędnej około 72 m n.p.m.). Obniżenie to wypełniają współczesne, luźne piaski korytowe. Wykonane badania dowodzą, że jest to teraz strefa koncentracji głównego nurtu. Poza nią, na prawo od linii nurtu w utworach korytowych stwierdzono liczne przeławienia namulów, które świadczą o okresowej stagnacji wód. Jest to także strefa posadowienia drenów ujęcia „Gruba Kaśka”. Trwała zmiana dynamiki przepływu w tym fragmencie koryta

przyczynia się do zmian charakteru współczesnych aluwiów korytowych, stanowiących naturalne złoża filtracyjne ujęcia. Domieszka substancji organicznej jest przejściowo odczuwalna przez odbiorców eksploatowanych tu wód (FALKOWSKI i ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK 2005).

Wnioski

1. Odcinek warszawski koryta Wisły jest formą o ustabilizowanej w sposób naturalny erozji. Czynnikiem stabilizującym cokolwiek erozyjny jest podłoże współczesnych aluwiów, budujące na odcinku „gorsetu warszawskiego” kulminację o skomplikowanej morfologii.

2. Morfologia podłoża aluwiów (naturalna i zmieniona np. w wyniku prac pogłębiarskich) warunkuje układ nurtu rzeki i wpływa na różnicowanie środowisk depozycyjnych.

3. Zmiany morfologii dna koryta są związane z tranzytem rumowiska wleczonego.

Literatura

- BŁASZKIEWICZ M., KRZYMIŃSKA J., 1992. Późnoglacialna faza jeziorna w dolinie Wierzycy. *Przeł. Geogr.* 64, 3-4: 369-380.
- DAVIS W.M., 1899. The geographical cycle. *Geogr. J.* 14: 481-504.
- DOBROWOLSKI A., i in. 1995. Ocena wpływu poboru kruszywa na stabilność dna w rejonie Warszawy. Maszynopis. IMiGW, Warszawa.
- FALKOWSKI E., 1971. Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. *Biul. Geol.* 12: 5-121.
- FALKOWSKI E., FALKOWSKI T., GRANACKI W., KARABON J., KRAUŻLIS K., 1987. Morfogenez sieci rzecznej obszaru województwa białkopodlaskiego w nawiązaniu do prawdopodobieństwa przebiegu deglacji. *Przeł. Geol.* 11: 620-628.
- FALKOWSKI E., KRAUŻLIS K., GRANACKI W., FALKOWSKI T., BIEGANOWSKI R., 1992. Mapa stropu gruntów trudnorozmywalnych wraz z ich litologią w korycie Wisły. Maszynopis. Zakład Badań Geologicznych dla Budownictwa, Warszawa.
- FALKOWSKI T., 2006. Naturalne czynniki stabilizujące wybrane odcinki strefy korytowej Wisły środkowej. *Rozpr. Nauk. Monogr. SGGW* 312.
- FALKOWSKI T., 2007. Alluvial bottom geology inferred as a factor controlling channel flow along the Middle Vistula River, Poland. *Geol. Q.* 51, 1: 91-102.
- FALKOWSKI T., OSTROWSKI P., 2005. Zastosowanie technologii GIS i GPS w badaniach wpływu podłoża aluwiów na przebieg współczesnych procesów kształtowania dna doliny Wisły środkowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 506: 137-144.
- FALKOWSKI T., ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK H., 2005. Zmiany zawartości substancji organicznej w wodach eksploatowanych ze współczesnych aluwiów Wisły na tle morfologii koryta. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 505: 115-122.
- FLOREK W., 1991. Postglacialny rozwój dolin rzek środkowej części północnego skłonu Pomorza. WSP, Słupsk.
- GAŚSIOROWSKI M., 2005. Historia starorzeczy Wisły w okolicach Warszawy. Maszynopis. Instytut Nauk Geologicznych PAN, Warszawa.

- GILBERT G.K., 1880. Geology of the Henry Mountains. W: US geographical and geological survey of the Rocky Mountain Region. US Department of the Interior, Washington: 90-144.
- JOHNSON D., 1932. Streams and their significance. *J. Geol.* 4: 481-496.
- KONCEPCJA programowo-przestrzenna zagospodarowania koryta Wisły środkowej od Annapola do Modlina. 2000. Maszynopis. Hydroprojekt, Warszawa.
- KORNACKI Z., 1960. Przyczyny obniżania się dna Wisły w Warszawie. *Gosp. Wod.* 7: 305-307.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G., 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. *Geol. Surv. Prof. Pap.* 282-B, 14: 44-62.
- LINDNER L., 1992. Stratygrafia (klimatostratygrafia) czwartorzędu. W: Czwartorzęd: osady, metody badań, stratygrafia. Red. L. Lindner. Wyd. PAE, Warszawa.
- MACKIN J.H., 1948. Concept of the graded river. *Bull. Geol. Soc. Am.* 59: 463-512.
- OSTROWSKI P., 2004. Wykorzystanie technologii GPS i środowiska GIS w badaniach dynamiki procesów korytowych dużych rzek na przykładzie Wisły Środkowej. *Przeł. Nauk. Inż. Kształ. Środ.* 13, 2(29): 32-40.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., 1997. O konieczności określania dla rzek polskich maksymalnych wiarygodnych wezbrań wywołanych maksymalnymi wiarygodnymi opadami. W: Forum naukowo-techniczne POWÓDŹ 1997. T. 2. IMiGW, Warszawa: 1-10.
- RÓŻYCKI S.Z., 1972. Plejstocen Polski środkowej na tle przeszłości w późnym trzeciorzędzie. PWN, Warszawa.
- SARNACKA Z., 1992. Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. *Pr. Państw. Inst. Geol.* 108.
- STARKEL L., 2001. Historia doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś. *Monogr. Inst. Geogr. Przestrz. Zagosp. PAN* 1.
- SYLWESTRZAK J., 1978. Rozwój sieci dolinnej na Pomorzu pod koniec plejstocenu. GTN, Gdańsk.
- WIERZBICKI J., 1994. Stałość pionowego układu i morfologii koryta oraz zwierciadła wody Wisły warszawskiej na odcinku położonym między ujściem rzeki Pilicy a ujściem rzeki Narwi. Maszynopis. Zakład Budownictwa Wodnego PW, Warszawa.
- ZIELIŃSKA M., 1960. Zmiana niwelety Wisły w Warszawie na tle zmian profilu Wisły środkowej. *Gosp. Wod.* 11: 477-480.
- ŻELAZIŃSKI J., BRAŃSKI J., KADŁUBOWSKI A., WERESKI S., 2005. Application of the CCHE models for explanation of factors causing deep erosion of Vistula River bed in Warsaw. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* E-5, 387: 87-113.

THE VISTULA RIVER CHANNEL ZONE GEOLOGY AND ITS IMPORTANCE FOR THE RIVER INFRASTRUCTURE STABILITY

Summary. Warsaw reach of the Vistula River Valley is the zone of the alluvia basement protrusion existence. This structure is composed of erosion resistant deposits – covered with residual lag: Pliocene clays, boulder clays, ice dam deposits as well as Pleistocene alluvia. Alluvia basement stabilise deep erosion and cause differentiation of the channel deposition environments what is of crucial importance for the channel infrastructure.

Key words: Vistula River channel, alluvia substratum protrusion, erosion

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., Ostrowski P., 2009. Budowa geologiczna strefy korytovej Wisły warszawskiej i jej znaczenie dla związanej z korytem infrastruktury. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #82.*