

Geologiczne warunki naturalnej stabilizacji pionowego układu koryta Wisły w Warszawie

Geological conditions of natural stabilization of Vistula river channel vertical profile in Warsaw

Wstęp

Badania geologiczne prowadzone w dolinach rzecznych na obszarze Nizżu Polskiego dowodzą, że formy te odbiegają znacznie od modelu doliny erozyjno-akumulacyjnej (rozpowszechnionego w literaturze np. Nowak 1974, Sarnacka 1982, 1992), w którym znacznej miąższości serie aluwialne tworzą czytelny w morfologii system tarasów rzecznych.

Doliny rzeczne na Nizżu Polskim są formami, w których powstaniu znaczną rolę odegrały procesy glacialne, takie jak egzaracja lobów lodowcowych, a także procesy związane z arealnym zanikiem pokrywy lodowej. Przebieg tego typu zjawisk oraz ich efekty w postaci morfo- i litogenetycznego zróżnicowania dolin rzecznych, a także obszarów przyległych do doliny oraz struktur i osadów występujących w jej podłożu został opisany w literaturze (Falkowski E. i in. 1988, Falkowski E. 1990, Falkowski T. 1997a). Intensywność procesów erozji i akumulacji przebiegających w obrębie odcinka

odziedziczonego warunkuje to, czy adaptowane na dolinę obniżenie zachowało jeszcze ślady pierwotnej genezy.

Jednym ze zjawisk, obserwowanych powszechnie w dolinach rzek na Nizżu (związanym z glacialną genezą dolin), jest występowanie w ich podłożu spiętrzonych glacitektonicznie lub glaciostatycznie wypartych utworów spoistych. Są to przeważnie gliny zwałowe, zastoi-skowe ły i pyły oraz ły plioceńskie. Sporadycznie występują także piaski z węglem brunatnym i ły miocenu. Wraz z utworami spoistymi wyparcia ulegały często także gruboziarniste osady fluwio-glacialne, których rozmycie przez współczesne rzeki dało pokłady bruku morenowego i głazów.

Utwory te wraz ze strefami wychodni gruntów rezydualnych (bruku morenowego) i osadów jeziornych tworzą w korycie kulminacje podłoża i stanowią progi trudno rozmywalne, które należy uznać za strefy stabilizujące koryto w profilu pionowym. Są to więc swego rodzaju lokalne bazy erozyjne.

Zarys budowy geologicznej doliny Wisły na omawianym odcinku

Dolina Wisły warszawskiej nosi także ślady glacialnej genezy. Osady w podłożu aluwiiów są często zaburzone, tworzą liczne kulminacje i depresje. W morfologii doliny wydzielić można następujące elementy:

- **strefę tarasu wyższego – plejstoceńskiego, z okresu ostatniego zlodowacenia.** Stanowi ona stosunkowo szeroki obszar zbudowany przeważnie z sedymentów rzeki roztokowej, lokalnie z silnie rozwiniętymi na powierzchni formami wydmowymi. Forma ta składa się z trzech poziomów akumulacyjnych nazywanych tarasami: otwockim, falenickim i praskim (Sarnacka 1982). Ciekawy jest fakt, że na odcinku warszawskim doliny Wisły, w okolicach Rembertowa, poziom morfologicznie zgodny z tarasem wyższym – praskim (Różycki 1967, Sarnacka 1982), zbudowany jest z utworów zastoiskowych, sedymentujących w jeziorach powstających przez zablokowanie odpływu powierzchniowego przez nasuwający się lądolód. Potwierdza to hipotezę o glacialnej genezie tego odcinka doliny;
- **strefę tarasu niższego – holocenckiego.** W jego obrębie wydzielić można obszar uformowany przez rzekę meandrującą i obszar tarasu współczesnego, uformowany przez rzekę dziką – roztokową.

Na powierzchni tarasu, uformowanego przez rzekę meandrującą (charaktery-

zującą się względnie wyrównanym przepływem) zachowały się jeszcze wyraźne ślady meandrowania. Są one szczególnie dobrze widoczne na zdjęciach lotniczych (Falkowski i Laskowski 1978). W części stropowej utworów tego poziomu występują osady facji powodziowej, wykształcone w postaci glin i pyłów. Seria ta ma dla rozważań na temat ewolucji doliny w holocenie charakter poziomu reperowego (Falkowski E. 1971). Wywołane antropopresją dziczenie rzeki w holocenie zaznaczyło się wyprostowaniem łuków krzywizn koryta, jego wielokrotnym poszerzaniem i depozycją osadów facji korytowej w postaci wysp, mielizn, a także nasp piaszczystych na powierzchni holocenckiego tarasu rzeki meandrującej. Utwory charakteryzującej się wielką różnorodnością stanów zwierciadła wody rzeki dzikiej – roztokowej tworzą powierzchnię przyległą do koryta tarasu współczesnego. Leży ona często hipsometrycznie wyżej niż strop utworów budujących powierzchnię tarasu rzeki meandrującej. Szczególne nasilenie depozycji osadów piaszczystych rzeki dzikiej tworzących taras współczesny przypada na okresy wezbrań.

Ewolucja rzeki w holocenie zaznaczyła się także zmianą litologii utworów wezbraniowych. Współcześnie dominują wśród nich mady pylasto-piaszczyste. Gruntoznawcza analiza utworów wezbraniowych rzeki meandrującej i roztokowej (Myślińska i Hoffman 1982) jest istotnym elementem oceny antropogenicznych zmian środowiska przyrodniczego obszaru dorzecza.

Obserwacje prowadzone na omawianym odcinku (Falkowski E., Laskowski

1978, Falkowski E. i in. 1981) dowodzą, że Wisła powyżej ujścia Wilanówki oraz poniżej Łomianek ma charakter rzeki dojrzałej, swobodnej (według klasyfikacji podanej przez E. Falkowskiego 1971). Szeroką dolinę wypełniają dużej miąższości utwory aluwialne.

Od ujścia Wilanówki do Łomianek, a więc na znacznej części odcinka Wisły warszawskiej w podłożu aluwii występują płytko utwory trudno rozmywalne, stanowiące progi stabilizujące erozję i ograniczające rzece możliwość swobodnego przemieszczania i kształtowania koryta.

Odcinki koryta powyżej stabilizujących progów zbudowanych z gruntów trudno rozmywalnych są strefami intensywnej sedymentacji, a odcinki poniżej nich – miejscami tworzenia się wybojów (Wierzbicki i in. 1994). W ich obrębie w czasie wezbrań erozja jest największa. Po opadnięciu fali wezbraniowej deponowane są tu dużej miąższości serie utworów korytowych. Osad ten charakteryzuje się zróżnicowaniem uziarnienia (od piasków drobnych do żwirów), typowym dla sedymentów rzeki roztokowej oraz bardzo słabym zagęszczeniem. Zasięg przeróbki po każdym wezbraniu rejestrowany jest w tym luźnym osadzie warstwą wzbogaconą o frakcję grubą.

Miąższość aluwii w strefie występowania kulminacji trudno rozmywalnego podłoża aluwii jest różna. Spotykane są miejsca, w których kulminacje te występują w korycie pod przykryciem współczesnych aluwii oraz miejsca, gdzie grunty te wprost odsłaniają się w dnie koryta. Zagęszczenie utworów aluwialnych współczesnej Wisły ponad tymi

gruntami (przeważnie są to piaski luźne, co najwyżej średnio zagęszczone) wskazuje na zjawisko odsłaniania stropu utworów trudno rozmywalnych w czasie trwania wysokich stanów. Także i w tych miejscach głębokość przeróbki w czasie wezbrań rejestrowana jest przeławieniami żwirowymi w obrębie luźnych, najmłodszych sedymentów.

Położenie (morfologia stropu), litologia i stan gruntów budujących trudno rozmywalne progi świadczy o ich małej podatności na erozję. Utwory fluwioglacjalne są przeważnie przykryte rezydualnym brukiem zbudowanym ze żwirów i otczaków. Lokalnie spotyka się nagromadzenie głazów. Zarówno bruk ten, jak i leżące poniżej piaski i żwiry fluwioglacjalne są bardzo silnie zagęszczone, co wyraźnie widać w profilach sond dynamicznych, które były wykonywane w tego typu osadach na omawianym odcinku (np. Falkowski E. i in. 1993). Także osady zastoiskowe, takie jak piaski drobne, piaski pylaste i pyły są silnie zagęszczone. Utwory spoiste, tworzące trudno rozmywalne progi są często mocno skompromowane. W iłach pliocenских i plejstoceńskich zastoiskowych, a także niekiedy w glinach zwałowych, w wydobywanych spod dna próbkach obserwowane były wyraźne złuskowacenia świadczące o ich sprasowaniu (glacitektonika). Niekiedy stropowa część utworów spoistych znajduje się w stanie miękkoplastycznym (do prawie 0,5 metra). Poniżej tej strefy grunt jest już w stanie twardoplastycznym. Podobnie jak w przypadku utworów fluwioglacjalnych, tak i w przypadku utworów spoistych (iłów pliocenских, glin zwałowych i osadów zastoiskowych) na ich

powierzchni powszechnie występują rezydualne bruki morenowe, zbudowane ze żwirów i otoczków. Są to przeważnie granity, gnejsy i kwarcyty, a więc skały bardzo odporne na wietrzenie. Miąższość strefy rezydualnej nie przekracza zwykle jednego metra.

W obrębie podłoża aluwiów w dolinie i w korycie Wisły na omawianym odcinku wyróżnić można następujące strefy: strefy progów – gdzie miąższość aluwiów jest najmniejsza (utwory podłoża odsłaniają się wręcz w korycie), wybojów – gdzie miąższość aluwiów dochodzi do 20 metrów, strefy w których podłoże tworzy prawie poziomą powierzchnię oraz strefy wydłużonych obniżzeń o kształcie rynien, biegnących często skośnie do obecnego koryta rzeki.

Zróznicowanie morfologii stropu gruntów trudno rozmywalnych związane jest z deformacjami glacitektonicznymi, glaciizostatycznymi, erozją, a obecnie z działalnością człowieka (wzrost wysokości wezbrań i pogłębienie się niskich stanów, a także sztuczne pogłębianie dna).

Na odcinkach występowania kulminacji podłoża aluwiów, tworzących trudno rozmywalne progi zaznacza się wyraźnie zmniejszenie szerokości tarasu holocenckiego (warszawski odcinek Wisły – Łuk Goćławski do Łomianek).

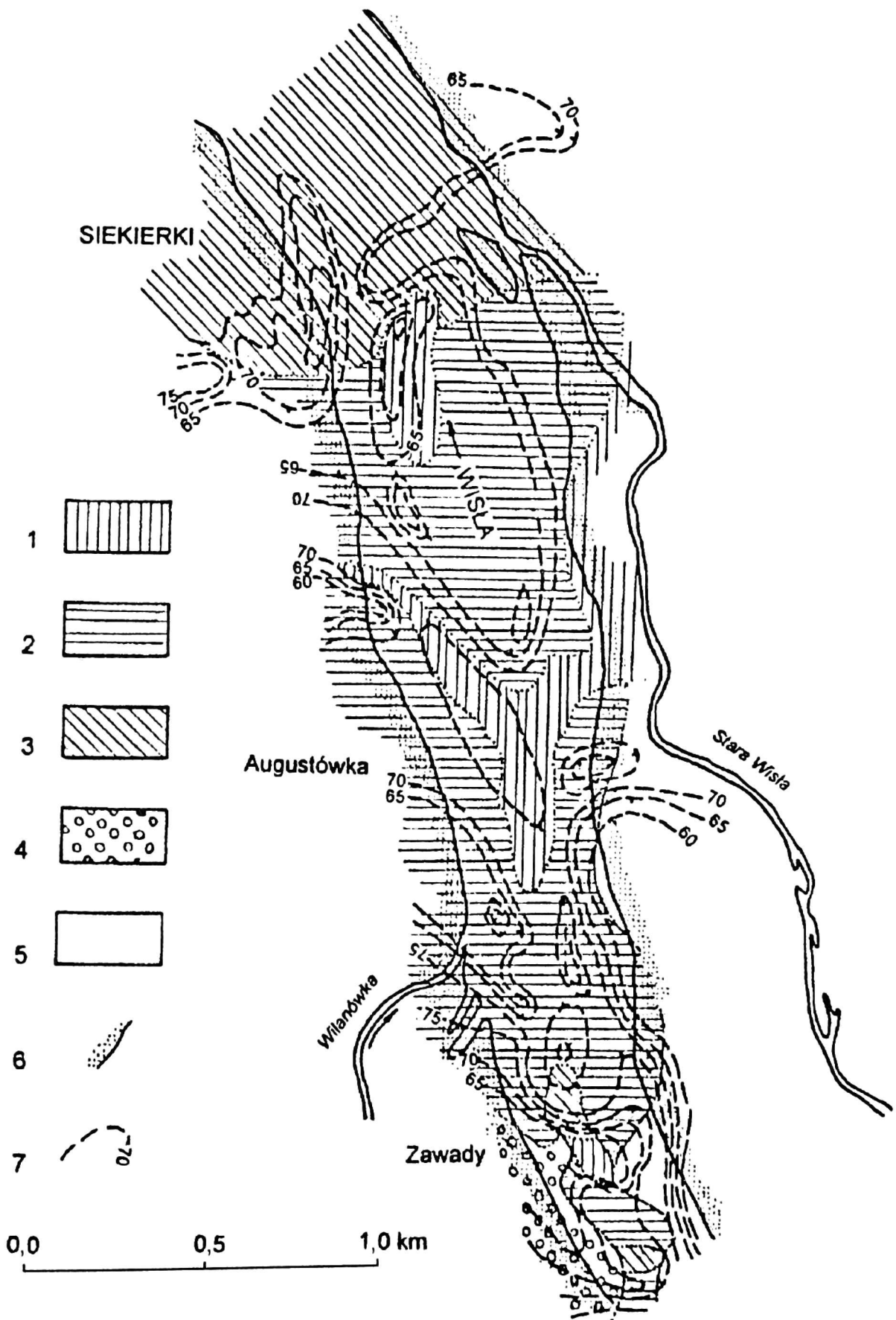
Dokładniejsza analiza ukształtowania powierzchni stropu gruntów trudno rozmywalnych, a szczególnie obserwowane występowanie kulminacji stropu utworów spoistych w korycie, pozwala przypuszczać, że wypiętrzanie tych utworów, oprócz wspomnianych wcześniej procesów glacitektoniki i glaciizostazji, jest związane z naciskiem mas osa-

dów tworzących tarasy wyższe oraz wysoczyznę. Zjawisko wypierania gruntów spoistych w strefie koryta na skutek nacisku mas gruntów budujących wyższe poziomy akumulacyjne, jak można przypuszczać przebiega także i współcześnie (Falkowski E. i Laskowski 1978).

Przykład zróznicowania litologicznego i morfologicznego powierzchni stropowej podłoża aluwiów w korycie Wisły warszawskiej przedstawia mapa koryta w okolicy Siekierek (rys.). Jest ona fragmentem opracowania wykonanego przez zespół kierowany przez prof. dr. hab. E. Falkowskiego, a składający się z pracowników Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego i Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW (Falkowski i in. 1992).

Strefa nieco poniżej ujścia Wilanówki jest obszarem, na którym strop podłoża aluwiów wykazuje deniwelacje dochodzące do 15 metrów (od 63 do 78 m n.p.m.). W okolicach Augustówki w podłożu aluwiów stwierdzono rynną erozyjną, której dno sięga rzędnej 59 m n.p.m. Powierzchnię tą budują ility plicenu, gliny zwałowe oraz piaski i żwiry fluwioglacjalne. Utwory te na znacznym obszarze przykryte są rezydualnymi brukami. Zróznicowanie morfologii i litologii trudno rozmywalnego podłoża aluwiów świadczy o silnym glacitektonicznym zaburzeniu tych osadów.

Płytkie występowanie w korycie stropu trudno rozmywalnego podłoża aluwiów było w przeszłości przyczyną formowania się w rejonie Siekierek zatorów lodowych, o czym świadczy około czterokilometrowej długości rynna erozyjna



RYSUNEK. Mapa stropu podłoża aluwii w korycie Wisły w Warszawie w okolicy Siekierki (Falkowski E. i in. 1992): 1 – gliny zwałowe, 2 – utwory zastoiskowe, 3 – iły plioceniczne, 4 – żwiry fluwioglacjalne, 5 – piaski facji korytowej, 6 – granica koryta Wisły, 7 – izohipsy stropu podłoża aluwii

FIG. Map of the Vistula channel alluvia basement in Warsaw near Siekierki (based on Falkowski E. et al. 1992): 1 – boulder clays, 2 – ice-dam deposits, 3 – Pliocene clays, 4 – fluvioglacial gravel, 5 – channel sands, 6 – Vistula channel border; isohypse of alluvia basement roof

przepływów wezbraniowych, biegnąca po powierzchni tarasu niższego, nazywana Starą Wisłą (rys.).

Związek występowania w korytach rzek nizinnych trudno rozmywalnych progów z zatorogennością ich odcinków opisano na przykład w dolinie Bugu i Wisły (Bieganowski i Falkowski T. 1988, Falkowski T. i in. 1989).

Wnioski

1. Analiza ukształtowania powierzchni gruntów trudno rozmywalnych, a także analiza ich litologii wskazują, że wcinanie Wisły w praktyce nie występuje.
2. Obserwowane obniżanie się poziomu dna występuje jedynie między progami i dotyczy warstwy aluwialnej (utworów korytowych). Cechy tych utworów, takie jak słabe zagęszczenie i występujące w ich profilu przeławicenia żwirowe świadczą o tym, że erozja sięgała kiedyś głębiej – często do poziomu trudno rozmywalnych utworów (czego świadectwem są wytworzone w stropowej części glin zwałowych i ilów fluwioglacjalnych, występujących w strefach wybojów utwory rezydualne). Odcinki te zostały jednak potem wypełnione osadem. Wyjątkiem są strefy powyżej progów obniżonych w wyniku działalności człowieka, lub na których powierzchni zniszczona została warstwa rezydualnych bruków.
3. Podkreślić należy także, że typowanie stref występowania gruntów trudno rozmywalnych w korycie, z dużą

dokładnością przeprowadza się na podstawie analizy morfo- i litogenezy odcinka doliny. Dowodzą tego zarówno wyniki badań odcinka doliny Wisły warszawskiej, jak też wyniki badań dolin na obszarze całego Niziu Polskiego (Falkowski E. 1980, Falkowski T. i in. 1989, Karabon 1980; Bieganowski i Falkowski T. 1988, Falkowski i Popek 1998 i inne).

4. Występujące płytko pod pokrywą aluwialną w dolinie Wisły spoiste grunty słaboprzepuszczalne, tworzące w korycie strefę trudno rozmywalną, mogą mieć także znaczenie dla przebiegu dróg filtracji wód podziemnych w strukturach tarasowych. Stwierdzone w stropie tych utworów w korycie Wisły wydłużone depresje oraz fałdy kontynuować się muszą w obrębie tarasów, tworząc uprzywilejowane drogi przepływu wód podziemnych. Mogą stanowić także bariery ograniczające dopływ wód podziemnych do koryta. Rozpoznanie tych form ma istotne znaczenie dla ustalania warunków hydrogeologicznych dolin rzecznych na przykład dla projektowania sieci monitoringu wód podziemnych (Falkowski T. 1998), czy lokalizacji ujęć wody (Falkowski T. 1997b).

Literatura

- BIEGANOWSKI R., FALKOWSKI T. 1988: *Kanały ulgi wód wezbrań zatorowych na przykładzie odcinka Bugu koło Wólki Nadbużnej*; Przegl. Geolog. 11; (663–664)
- FALKOWSKI E. 1971: *Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski*. Biul. Geolog. tom 12.

- FALKOWSKI E. 1990: *Morphogenetic classification of river valleys in formerly glaciated areas for the needs of mathematical and physical modelling in hydrotechnical projects*. Geographia Polonica 58; 57–68.
- FALKOWSKI E., FALKOWSKI T., GRANACKI W., KARABON J., KRAUŻLIS K. 1988: *Morfogeneza sieci rzecznej obszaru województwa białkopodlaskiego, w nawiązaniu do prawdopodobieństwa przebiegu deglacjacji*. Przegl. Geolog. nr 11; 620–628.
- FALKOWSKI E., KRAUŻLIS K., BUSZKO A., CZARNECKI M., GRANACKI W., KARABON J., LEWIŃSKA A. 1981: *Studium geologiczne Wisły środkowej na odcinku ujście Pilicy – Buraków oraz Odry w rejonie ujścia Warty*. Spraw. z badań z 1981 PR. 07.11.02.
- FALKOWSKI E., KRAUŻLIS K., GRANACKI W., FALKOWSKI T., BIEGANOWSKI R. 1992: *Mapa stropu gruntów trudno rozmywalnych wraz z ich litologią w korycie Wisły*. Zakład Badań Geolog. dla Budownictwa, Warszawa, ul. Stradomska 55.
- FALKOWSKI E., KRAUŻLIS K., GRANACKI W., FALKOWSKI T., BIEGANOWSKI R. 1993: *Badania litologii i morfologii stropu gruntów trudno rozmywalnych oraz miąższości aluwii pod ujęcia PU-4 i PU-5, jak też cech geotechnicznych na trasie doprowadzalnika*. Zakł. Badań Geolog. dla Budow., Warszawa.
- FALKOWSKI E., LASKOWSKI K. 1978: *Sprawozdanie z realizacji tematu Wpływ erozji i sedymentacji w korycie Wisły na odcinku od ujścia Pilicy do ujścia Narwi na morfologię stropu gruntów trudno rozmywalnych (w aspekcie poboru kruszywa)*.
- FALKOWSKI T. 1997a: *The importance of recognition of polygeny for the rational utilisation of river valleys in the Polish Lowland*. Proceedings International Symposium Engineering Geology and the Environment, Athens. A.A. Balkema, Rotterdam; 107–111.
- FALKOWSKI T. 1997b: *Wpływ poligenezy dolin rzecznych na Niziu Polskim na warunki lokalizacji poddennych, infiltracyjnych ujęć wody*. Współczesne problemy hydrogeologii. Tom VIII, red. J. Górski i E. Liszkowska; 279–281.
- FALKOWSKI T. 1998: *Znaczenie rozpoznania genezy dolin rzecznych na Niziu Polskim dla wyznaczania zasięgu stref ochronnych dla poddennych ujęć wody*. W: *Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce*. red. J. Liszkowski, Wind, Poznań; 203–205.
- FALKOWSKI T., GRANACKI W., KRAUŻLIS K. 1989: *Litologiczne i morfologiczne kryteria oceny zatorogenności odcinków dolnej Wisły*. Inform. Projekt. „Hydroprojekt”; 53–57.
- FALKOWSKI T., POPEK Z. 1998: *Zmiany położenia dna w korycie Wkry na tle zróżnicowania morfogenetycznego jej doliny i przyległych wysoczyzn*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 458; 33–43.
- KARABON J. 1980: *Morfogenetyczna działalność wód wezbraniowych związana z zatorami lodowymi w dolinie Wisły Środkowej*. Przegl. Geolog. 8.
- MYŚLIŃSKA E., HOFFMAN E. 1982: *Zróżnicowanie litologiczne mac w wybranych odcinkach doliny Wisły*. Przegl. Geolog. nr 9.
- NOWAK J. 1974: *Stratygrafia plejstocenu północnej części Kotliny Warszawskiej*. Biul. Inst. Geolog. 268; 91–164.
- RÓŻYCKI S.Z., SUJKOWSKI Z. 1936: *Profile geologiczne przez Warszawę*. Zarząd Miejski w Warszawie.
- RÓŻYCKI S. 1967: *Plejstocen Polski Środkowej na tle przeszłości w późnym trzeciorzędzie*. PWN, Warszawa.
- SARNACKA Z. 1982: *Stratygrafia i charakterystyka litologiczna osadów czwartorzędowych rejonu doliny Wisły na południe od Warszawy*. Biul. Inst. Geolog. 337; 143–198.
- SARNACKA Z. 1992: *Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic*. Prace PIG 108.
- WIERZBICKI J. i in. 1994: *Stołość pionowego układu i morfologii koryta oraz zwierciadła wody Wisły Warszawskiej na odcinku położonym między ujściem rzeki Pilicy a ujściem rzeki Narwi*. Zakł. Budow. Wod. Wydz. Inż. Środ. Politechniki Warszawskiej; Archiwum ODGW, Warszawa.

Summary

Erosion resistant deposits of Wisła alluvia substratum in Warsaw occurrence, as an element of natural stability of river vertical profile. Basement of channel alluvia

of Warsaw Wisła is formed by glacitectonically disturbed glacial deposits (boulder clays, gravel, ice dam deposits) and Pliocene clays. Those sediments (often overlain by residual lags) build erosion resistant escarpment, which stabilise deep erosion. Thickness of the channel alluvia is from 0 to 20 meters. Occurrence of erosion resistant structures in

channel zone is connected with geomorphology of Wisła river valley.

Author's address:

T. Falkowski
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland.