

Agnieszka KAŁMYKOW-PIWIŃSKA¹, Tomasz FALKOWSKI²

¹Studia doktoranckie na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego
PhD Studies at the Faculty of Geology, University of Warsaw

²Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie
Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

Ocena stabilności morfologii koryta na podstawie analizy archiwalnych materiałów kartograficznych i fotogrametrycznych wykonywanej w środowisku GIS Assessment of the channel morphologic stability in the base of archival cartographic and photogrammetric data in GIS environment

Słowa kluczowe: stabilność koryta, Wyspy Zawadowskie, GIS

Key words: channel stability, Zawadowskie Islands, GIS

Wprowadzenie

Obszar równi zalewowej (tarasu zalewowego) rzek nizinnych, oprócz istotnych wartości przyrodniczych i gospodarczych, charakteryzuje się także dużą dynamiką przebiegających współcześnie procesów morfo- i litotwórczych (erozji i depozycji rzecznej) – Falkowski (1971). Podstawowym problemem w zagospodarowaniu takich stref jest określenie zakresu możliwych zmian jego powierzchni, przebiegających w efekcie procesów

naturalnych i modyfikowanych działalnością człowieka. Wiedza taka stanowić może wytyczne do zarządzania obszarem równi zalewowej nie tylko w zakresie przedsięwzięć gospodarczych, ale także w zakresie identyfikacji warunków funkcjonowania cennych przyrodniczo siedlisk czy zbiorowisk roślinnych. Wydaje się ona także niezbędna, szczególnie do sporządzania projektów naturalnej regulacji czy renaturyzacji odcinków rzek (Żelazo i Popek 2002).

Zmiany morfologii równi zalewowej przebiegają głównie w wyniku bocznej migracji koryta, awulsji, a także erozji i depozycji wezbraniowej (Miall 1996). Jednak obserwowana w poszczególnych odcinkach dolin rzek na Niziu Polskim zmienność dynamiki współczesnych pro-

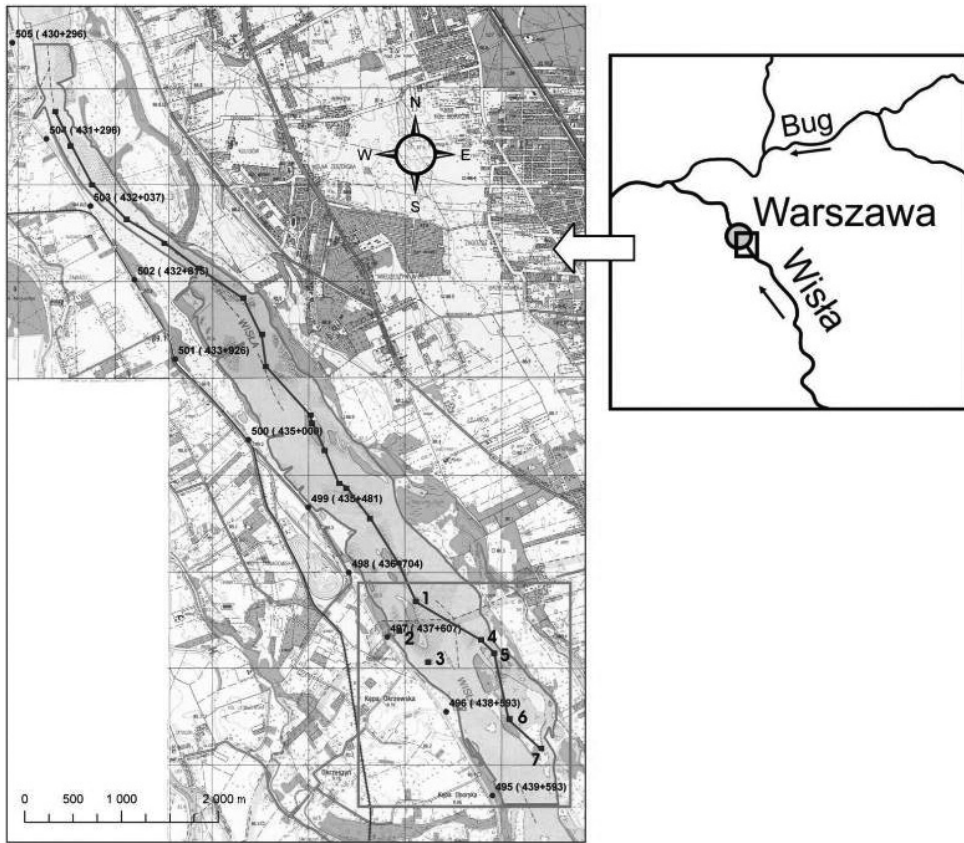
cesów korytowych (np. Falkowski 1971, Sylwestrzak 1978, Florek 1991) wynika także z historii geologicznej doliny i obszaru równi zalewowej. Wiele współczesnych rzek wykorzystuje na swoje doliny obniżenia, jakie pozostawiły po sobie lądolody skandynawskie. Proces ich adaptacji na dolinę w różnym stopniu zatarł ślady pierwotnej genezy, dlatego w zasięgu erozji współczesnych rzek Nizy Polskiego znajdują się często trudno rozmywalne utwory glacialne plejstocenu, a także osady starsze, na przykład ily jeziorne neogenu. Odslaniają się one w dnie koryta (pod wodą) przy wysokich stanach i wpływać mogą wtedy na układ głównego nurtu (Falkowski 2007).

Zmiany morfologii koryta w odcinkach dolin, w których głęboki cokół erozyjny wypełniony jest dużej miąższości seriami aluwiiów facji korytowej, związane są zazwyczaj z reżimem hydrologicznym rzeki (Falkowski 1971, Mycielska-Dowgiałło 1978, Kozarski i Rotnicki 1978; Starkel 1983, Vanderberghe 2002). Rzeki płynące w tego typu dolinach Falkowski określa (1971) jako „dojrzałe, swobodne”. W zależności od stopnia wyrównania przepływów w roku hydrologicznym, na powierzchni równi zalewowej funkcjonuje rzeka meandrująca lub roztokowa. Efektem zwiększania się różnic pomiędzy przepływami ekstremalnymi, jakie w większości rzek na Nizy Polskim przebiegały w holocenie pod wpływem zagospodarowania zlewni, była zmiana rozwinięcia koryta (Falkowski 1971). W większości przypadków (Florek 1991) rzeki z meandrujących przeobraziły się w roztokowe, a wzdłuż ich koryt uformowana została strefa tarasu współczesnego (Mycielska-Dowgiałło 1978, Falkowski 1982,

Szumański 1986). Dalsze zmiany reżimu hydrologicznego rzek obserwowane obecnie (np. Ozga-Zielińska 1997) sprzyjać mogą na odcinkach rzek dojrzałych swobodnych istotnym zmianom morfologii ich koryt, nawet po każdym wezbraniu. Równocześnie proces transformacji systemu rzecznoego w holocenie, który Falkowski (1971, 1982) określił jako „dziczenie rzek”, zwiększył wpływ podłoża aluwiiów na przebieg procesów korytowych i pozakorytowych. Zjawisko to obserwuje się w miejscach, gdzie podłoże zbudowane z utworów trudno rozmywalnych tworzy morfologiczne kulminacje, które odslaniają się (pod wodą) w dnie koryta spod warstwy aluwialnej w czasie przepływu wielkich wód (Falkowski 2006). Stabilność wielu elementów morfologii koryta współczesnych, w większości „dzikich” rzek zależna może być zatem od ukształtowania powierzchni podłoża aluwiiów. Oddziaływanie to wzmacniane bywa oddziaływaniem budowli regulacyjnych i ochrony przeciwpowodziowej, które zwiężając strefę koryta wielkich wód, powodują także często wzrost głębokości przeróbki aluwiiów (Popek i in. 2009).

Cel i metodyka badań

Celem badań była ocena stabilności strefy korytowej Wisły w rejonie rezerwatu Wyspy Zawadowskie prowadzona na podstawie kryteriów morfologicznych. Analizowany odcinek położony jest na południe od Warszawy, między km 495 a 498 biegu rzeki (rys. 1) Poza walorami krajobrazowymi o wyjątkowości tego odcinka świadczy fakt, że na licznych tu mezoformach koryto-



RYSUNEK 1. Położenie analizowanego odcinka koryta Wisły
 FIGURE 1. Location of the analysed Vistula channel reach

wych (wyspach) znajdują się stanowiska lęgowe rzadkich gatunków ptaków. Gniazduje tu między innymi: mewa pospolita *Larus canus*, mewa śmieszka *Larus ridibundus*, rybitwa rzeczna *Sterna hirundo*, rybitwa białoczerna *Sterna albifrons*, sieweczka rzeczna *Charadrius dubius*, sieweczka obroźna *Charadrius hiaticula*, tracz nurogęś *Mergus merganser*, zimorodek *Alcedo atthis*, brodziec piskliwy *Actitis hypoleucos*, a także mewa srebrzysta *Larus argentatus* i ostrzygojad *Haematopus ostralegus*. Rezerwat Wyspy Zawadowskie został powołany do życia decyzją Ministra

Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 grudnia 1998 roku. Akt ten był efektem wieloletnich starań Ogólnopolskiego Towarzystwa Ochrony Ptaków (<http://www.um.warszawa.pl/o-warszawie/kompendium-wiedzy/rezerwat-wyspy-zawadowskie>).

Funkcjonowanie rezerwatu przyrody ściśle związane jest z morfodynamiką koryta rzeki, ponieważ ze stabilnością występujących w korycie form depozycyjnych (wysp, łach) wiąże się sukces lęgowy chronionych tu gatunków ptaków. Wzrost ich populacji jest głównym zadaniem realizowanym aktualnie przez m.st.

Warszawę projektu LIFE+ „Ochrona siedlisk kluczowych gatunków ptaków Doliny Środkowej Wisły w warunkach intensywnej presji aglomeracji warszawskiej” (<http://wislawarszawa.pl>).

Odcinek Wisły w rejonie Wysp Zawadowskich od północy graniczy z odcinkiem Wisły warszawskiej, określanym jako „gorset warszawski” (Biernacki 1975). Cechą charakterystyczną „gorsetu warszawskiego”, poza wyraźnym zwężeniem strefy tarasu współczesnego (rzeki roztokowej), jest także płytkie występowanie stropu podłoża współczesnych aluwii. Tworzy tu ono wyraźną kulminację o skomplikowanej morfologii, którą budują osady spoiste neogenu (iły pstre), a także różnorodne utwory glacialne (Falkowski 2006). Osady podłoża aluwii są w strefie „gorsetu warszawskiego” zaburzone gładitektonicznie.

Rejon Wysp Zawadowskich leży zatem w strefie przejściowej między odcinkiem rzeki dojrzałej swobodnej na południu, gdzie duża miąższość serii aluwii facji korytovej umożliwia swobodne kształtowanie morfologii koryta, a odcinkiem rzeki skrepowanej budową geologiczną i zabudową hydrotechniczną na północy (Falkowski 1990, 2006). W górę biegu rzeki od strefy rezerwatu kulminację podłoża współczesnych aluwii zidentyfikowano w rejonie Góry Kalwarii (km 469–476) (Falkowski i Złotoszewska-Niedziałek 2003, Falkowski 2006). Określenie przyczyn i zakresu zmian morfologii koryta na analizowanym odcinku ma istotne znaczenie dla zarządzania jego obszarem, w tym także obszarem rezerwatu przyrody.

Podstawą prowadzonych badań była analiza zmian morfologii koryta Wisły prowadzona na podstawie kartogra-

ficznych materiałów archiwalnych oraz zdjęć lotniczych i satelitarnych. W jej trakcie wykorzystano:

- mapy topograficzne Wojskowego Instytutu Geograficznego z 1889/1890 roku w skali 1 : 25 000, arkusze: P40-S32-B Warszawa Mokotów, P40-S32-E Jeziorna, P40-S32-F Otwock,
- mapę topograficzną austrowęgierską z 1898 roku, w skali 1:75 000, arkusz WARSCHAU nr 3166,
- mapę topograficzną z 1991/1992 roku, wykonaną przez Sztab Generalny Wojska Polskiego, Zarząd Topograficzny, w skali 1 : 25 000, arkusze: 11 N-34-139-A-c, 12 N-34-139-A-d, 16 N-34-139-C-b,
- mapę numeryczną sytuacyjno-wysokościową wykonaną na podstawie zdjęć lotniczych z 20 maja 1999 roku przez Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne w Warszawie na zlecenie Regionalnego Zakładu Gospodarki Wodnej do celów projektowych, w skali 1: 10 000,
- ortofotomapę wykonaną ze zdjęć lotniczych z września 1999 roku, opracowaną przez Departament Geodezji i Kartografii Urzędu Marszałkowskiego Województwa Mazowieckiego dla międzywala Wisły w celu oceny zagrożenia powodzią oraz prognozy jej skutków, w skali 1 : 10 000, arkusz o ID 14-2-23-2-2-1/2000-1999-4,
- mapę topograficzną z 2002 roku wykonaną przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii w skali 1 : 10 000, arkusze: N-34-139-A-c-4 Warszawa Wilanów, N-34-139-A-d-3 Warszawa Międzylesie, N-34-139-C-b-1 Warszawa – Kępa Zawadowska,

- ortofotomapę z 2007 roku wykonaną przez Departament Geodezji i Kartografii Urzędu Marszałkowskiego Województwa Mazowieckiego, w skali 1 : 5000, arkusz o ID 14-2-23-2-2-9/2008-2007-4.

Dostępne materiały kartograficzne i fotogrametryczne nie pozwalały na określenie tempa zmian morfologii koryta, a także na powiązanie ich z konkretnymi zdarzeniami hydrologicznymi. W pracy skupiono się zatem na określeniu zakresu zmian koryta i jego związku z budową geologiczną i zabudową hydrotechniczną.

Identyfikacja zmian morfologii koryta prowadzona była w środowisku GIS (*Geographic Information System*). Zastosowanie technologii GIS było niezbędne do ujednoczenia obrazu topograficznego (porównania rastrowych materiałów kartograficznych, w tym archiwalnych, wykonanych w różnych układach współrzędnych i skalach). Wykorzystywane oprogramowanie GIS (ArcEditor firmy ESRI) umożliwiło ponadto porównanie wyników interpretacji tych materiałów (zapisanych w postaci wektorowych warstw informacyjnych) z wynikami kartowania geomorfologicznego koryta wykonanego przy użyciu technologii mobilnego GIS-u (za pomocą odbiornika DGPS i kompatybilnego z ArcEditor programu ArcPad).

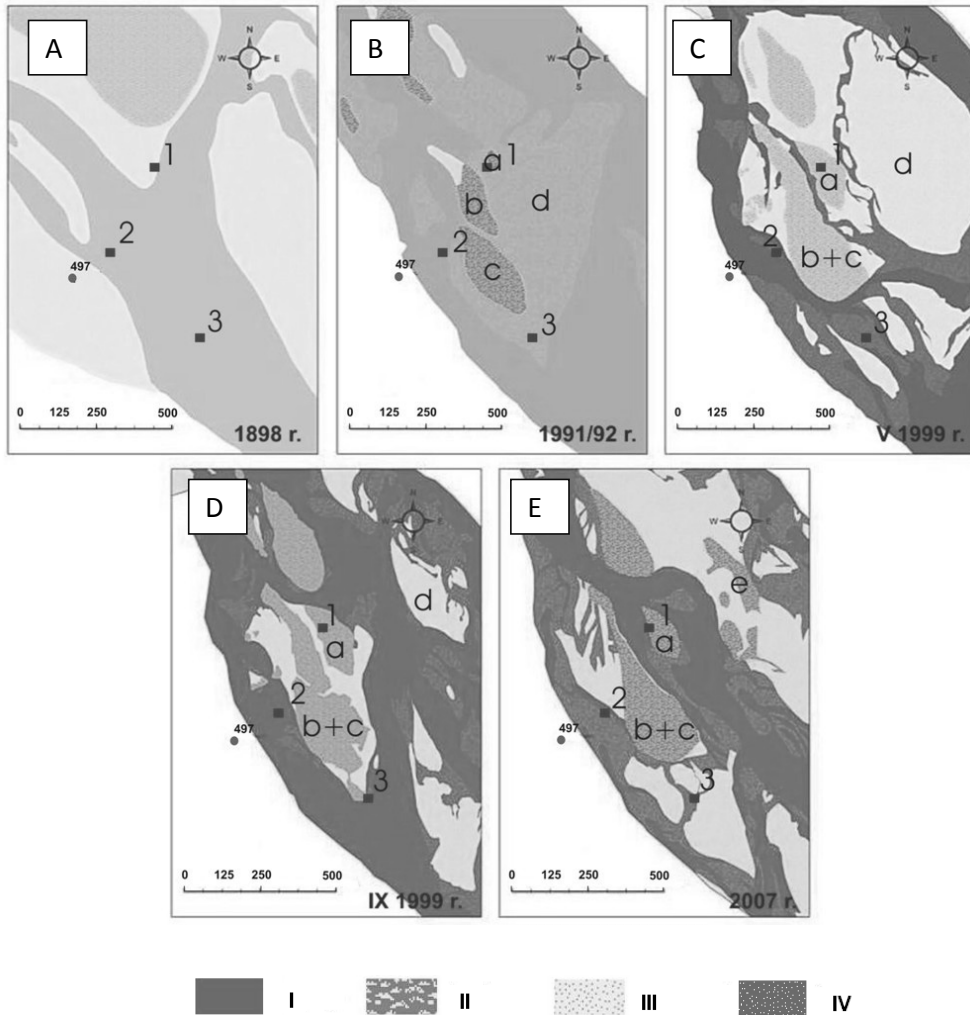
Dla weryfikacji koncepcji przyczyn stabilności opisanych form przeprowadzono także geologiczne sondowania w korycie. Wykonywano je przy użyciu ręcznego zestawu do wierceń rurowanych firmy Eijkelkamp. Lokalizację punktów badawczych w korycie prowadzono za pomocą odbiornika kodowego DGPS.

Wyniki

Analiza archiwalnych zdjęć lotniczych i map topograficznych wykazała, że w okresie od 1889 roku do 2007 roku w rejonie rezerwatu Wysp Zawadowskich (km 495–498) morfologia koryta Wisły podlegała dużym zmianom. Przede wszystkim doszło tu do znacznego zwężenia koryta oraz zmiany jego położenia, co związane było głównie z jego regulacją i budową wałów przeciwpowodziowych. Budowę wałów w rejonie Warszawy rozpoczęto jeszcze w pierwszej połowie XIX wieku (dopiero na mapie z 1991/1992 roku można zaobserwować wały w kształcie obecnym. Na wcześniejszych mapach (z 1889/1890 i z 1898 roku) poniżej km 500 na lewym brzegu były one położone znacznie dalej od rzeki niż współcześnie). W tym czasie przystąpiono także do regulacji koryta, którą zakończono w latach siedemdziesiątych XX wieku (Popek i in. 2009).

Porównanie zmian morfologii koryta, a także analiza informacji znajdujących się na mapach topograficznych dowodzą, że w analizowanym okresie kilkakrotnie dochodziło do zmiany położenia głównego nurtu (rys. 2). Szczególnie wyraźnie przedstawia to porównanie stanu koryta (prawdopodobnie średniej wody) na mapie z 1889 roku ze stanem z mapy z 1991 roku. Podobnie wyraźnie zmiany te można zauważyć, porównując stan koryta na ortofotomapie z 20 maja 1999 roku ze stanem z ortofotomapy z września 1999 roku oraz stan na ortofotomapie z września 1999 roku ze stanem z ortofotomapy z 2007 roku).

W trakcie analizy porównywano przebieg linii brzegowej koryta. Występujące w korycie mezoformy podzie-



RYSUNEK 2. Zmiany morfologii mezoform korytowych na odcinku między kilometrem 496+800 a kilometrem 497+500 w latach 1898–2007: I – koryto, II – łachy ustabilizowane roślinnością, III – łachy wynurzone, IV – łachy zanurzone; 1, 2, 3 – wiercenia, a, b, c... – mezoformy korytowe (Kałmykow-Piwińska 2012)

FIGURE 2. Changes of the channel mesoforms morphology between km 496+800 and km 497+500 in 1898–2007: I – channel, II – plant stabilized bar, III – emerged bar, IV – submerged bar; 1, 2, 3 – boring, a, b, c – channel mesoforms (Kałmykow-Piwińska 2012)

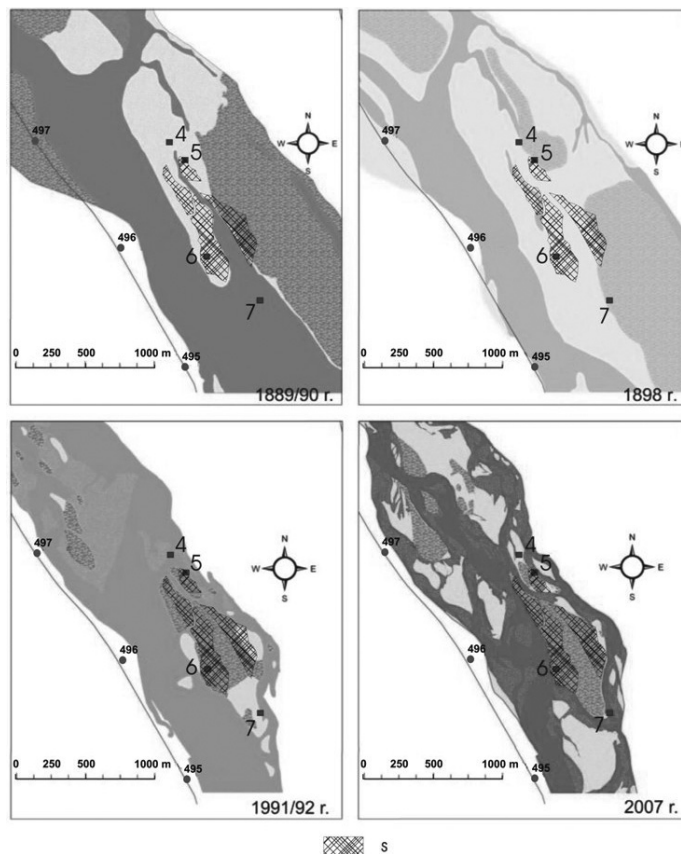
lono na 3 klasy. W ich typologii oparto się na klasyfikacji zaproponowanej przez Babińskiego (1992), a także przez Ostrowskiego (2011). W korycie Wisły na analizowanym odcinku wyróżniono:

łachy ustabilizowane roślinnością (wyspy), łachy wynurzone (odsypy brzegowe i śródkorytowe) i łachy zanurzone (ławice). Wielokrotne zmiany układu głównego nurtu przebiegały równole-

gle ze zmianami linii brzegowej koryta i mezoform korytowych. Zmianom ulegały: kształt, rozmiary i położenie wysp, łąch wynurzonych i łąch zanurzonych. Jest to szczególnie dobrze widoczne na fragmencie koryta Wisły między km 496+800 a km 497+500 (rys. 2 i 3).

W 1898 roku, w miejscu gdzie współcześnie znajdują się mezoformy Wysp Zawadowskich (rys. 2A i E) znajdował się główny nurt Wisły. Mapa z 1991/1992 roku (rys. 2B) przedstawia na tym odcinku dwie duże wyspy ustabilizowane ro-

ślinnością oraz jedną mniejszą (a, b, c). Znajdują się one w obrębie sięgającej do środka koryta łąchy zanurzonej (d). Na mapie z 20 maja 1999 roku (rys. 2C) widać, że łącha zanurzona przekształciła się już w łąchę wynurzoną (d), a duże wyspy połączyły się w jedną (b+c). Nurt dzielił się na dwie części powyżej nich i płynął dwiema wąskimi strefami przy prawym i lewym brzegu. Po wezbraniu w lipcu 1999 roku układ głównego nurtu zmienił się. Na mapie z września 1999 roku (rys. 2D) główna część nurtu biegła środkiem



RYSUNEK 3. Stabilny fragment koryta (S) między kilometrem 495 a kilometrem 497; objaśnienia jak na rysunku 2 (Kałmykow-Piwińska 2012)

FIGURE 3. Stable part of the channel area (S) between km 495 and 497; explanations as on Figure 2 (Kałmykow-Piwińska 2012)

koryta, co spowodowało erozję dużej części obserwowanej tam wcześniej łachy (d). Same wyspy (a, b+c) nie uległy dużym zmianom. Na mapie z 2007 roku (rys. 2E) widać, że położenie głównego nurtu znowu uległo zmianie. Skreślił on ze środka koryta w stronę lewego brzegu i przepływał przez środek opisywanych wysp (a, b+c). Po prawej stronie koryta utworzyła się strefa akumulacji (e), a nawet nastąpiła stabilizacja roślinnością powstającej ponownie w tym miejscu łachy wynurzonej.

Przeprowadzone wiercenia wykazały, że w rejonie rezerwatu Wyspy Zawadowskie miąższość współczesnych aluwiów korytowych wynosi od 8 do ponad 12 (wiercenia wykonywane były do głębokości 12 m). Na brzegach widocznych na rysunku 2 Wysp Zawadowskich stwierdzona miąższość współczesnych aluwiów korytowych (piasków średnich i drobnych ze żwirami) wyniosła: 9,2 m w wierceniu nr 1 i 10 m w wierceniu nr 2. W wierceniu nr 3 nie stwierdzono spągu tych osadów do głębokości 12 m. W ich podłożu występuje warstwa rezydualnego bruku zbudowana ze żwirów i otoczków (rys. 4).

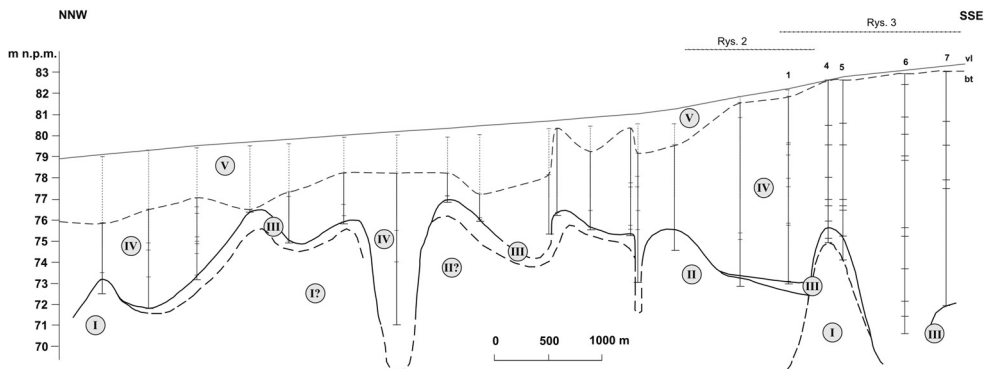
Przeprowadzone badania pozwoliły na identyfikację stabilnego elementu morfologii koryta. Jest nim wyspa położona między km 495 a km 497. Na mapach z 1889/1990 i z 1898 roku (rys. 3A i B) znajdował się w tym miejscu odsyp przybrzeżny, w znacznej części ustabilizowany roślinnością. Na mapie z 1991 roku (rys. 3C) odsyp przybrzeżny został częściowo zerodowany, aczęściowo znalazł się poza linią brzegową. Równocześnie powstała w tym miejscu duża wyspa. Na ortofotomapie z 2007 roku widoczna jest ona

w stanie prawie niezmiennym (rys. 3D). Stabilność formy potwierdzają także wyniki obserwacji przeprowadzonych w terenie w okresie od maja 2011 roku do sierpnia 2012 roku.

Wykonane w południowym krańcu wyspy wiercenie 7 wykazało strop podłoża aluwiów zbudowany z osadów rezydualnych (żwirów i otoczków), występujący na głębokości 10,8 m (wiercenie nr 7) poniżej poziomu średniej wody (rys. 3 i 4). W północnym skraju wyspy strop podłoża aluwiów zbudowany tu z gliny piaszczystej znaleziono na głębokościach 7,5 m (wiercenie nr 4) oraz 8,3 m (wiercenie nr 5) poniżej średniej wody. Ponad gliną (na głębokości 5,8–6,3 m oraz 5,8–6 m), w obrębie serii aluwialnej, stwierdzono warstwę zbudowaną ze żwiru, kamieni i otoczków. W wierceniu nr 6, zlokalizowanym przy brzegu wyspy (rys. 3), stropu podłoża aluwiów nie stwierdzono do głębokości 12 m (rys. 4).

Dyskusja

Duża miąższość współczesnych aluwiów w korycie Wisły w rejonie rezerwatu Wyspy Zawadowskie (rzędu kilkudziesięciu metrów) pozwala rzece na swobodne kształtowanie układu głównego nurtu i zmiany położenia stref depozycji, co jest charakterystyczne dla dojrzałej, swobodnej rzeki roztokowej (Falkowski 1971). Poza pokazaną na rysunkach 3 i 4 stabilną strefą, gdzie występuje niewielka kulminacja podłoża aluwiów, fakt ten powoduje ogromną zmienność morfologiczną analizowanego obszaru. Znajdujące się tu wyspy i łachy są stale prze-modelowywane, niszczone i budowane



RYSUNEK 4. Budowa geologiczna analizowanych fragmentów: I – utwory morenowe, II – utwory zastoiszkowe, III – utwory rezydualne (bruki), IV – współczesne aluwia korytowe Wisły, V – woda; wl – zwierciadło wody, bt – dno zaznaczono schematycznie; pozostałe oznaczenia jak na rysunkach 2 i 3
 FIGURE 4. Geology of the channel zone analyzed areas: I – moraine deposits, II – ice-dam deposits, III – residual lag, IV – contemporary Vistula channel alluvia, V – water; wl – water level, bt – channel bottom presented schematically; another explanations as on Figures 2 and 3

na nowo. Wskaźnikiem dynamiki koryta są także powalone kilkunastoletnie drzewa, które autorzy obserwowali w trakcie badań terenowych (rys. 5). Podobną, jak zaznaczoną na rysunkach 3 i 4, stabilność mezoform korytowych posadowionych na niewielkich obszarowo kulminacjach podłoża współczesnych aluwiiów opisano w sąsiedztwie analizowanego obsza-

ru, w okolicach Góry Kalwarii (Falkowski i Złotoszewska-Niedziałek 2003).

Wcześniejsze doświadczenia Falkowskiego i innych (2011) dowodzą, że jednoczesne oddziaływanie kulminacji trudno rozmywanego podłoża aluwiiów i zabudowy hydrotechnicznej prowadzić może do utrwalenia specyficznej stabilności koryta. Przykładem może być od-



RYSUNEK 5. Erozja brzegu, Wyspy Zawadowskie, 19.07.2011 (fot. A. Kałmykow-Piwińska)
 FIGURE 5. Bank erosion, Zawadowskie Island, 19.07.2011 (photo A. Kałmykow-Piwińska)

ciniek koryta w rejonie Siekierok (rys. 1 i 4). Charakteryzuje się on całkowitym brakiem w obrębie trasy regulacyjnej mezoform korytowych. Depozycja aluwii facji korytovej, po zakończeniu prac regulacyjnych, doprowadziła tu do wypełnienia stref międzyostrogowych i zwiększenia dynamiki przepływu. Zmiany morfologii obserwuje się jedynie na powierzchni dna zazwyczaj głębokiego koryta – ponad 2 m (Falkowski i in. 2011). Zwężenie trasy regulacyjnej na odcinku występowania strefy kulminacji stropu trudno rozmywalnego podłoża (rys. 1 i 4) doprowadziło w rejonie Siekierok do utrwalenia całkowicie tranzytowego charakteru koryta. W przypadku szerszych odcinków koryta, takich jak rejon Wysp Zawadowskich, występowanie nawet niewielkich kulminacji podłoża wpływa na układ nurtu wielkich wód, który zazwyczaj omija takie przeszkody. Zjawisko to jest przyczyną stabilizacji powstających na kulminacjach podłoża aluwii mezoform korytowych.

Wnioski

1. Odcinek koryta Wisły w rejonie Wysp Zawadowskich charakteryzuje duża dynamika zmian morfologicznych. Zjawisko to związane jest z głębokim położeniem powierzchni stropu trudno rozmywalnego podłoża aluwii, które w takich warunkach nie kępuje rzeki, a także z dużą szerokością trasy regulacyjnej.

2. Na odcinku Wysp Zawadowskich szata roślinna nie jest istotnym czynnikiem stabilizującym mezoformy korytowe.

3. Występowanie lokalnej kulminacji trudno rozmywalnego podłoża aluwii zbudowanego z utworów morenowych (gliny piaszczystej) jest prawdopodobnie przyczyną stabilizacji położenia wyspy między km 495 a 497.

4. Zmienność morfologiczna obszaru rezerwatu Wysp Zawadowskich jest naturalną cechą ich środowiska przyrodniczego, warunkującą występowanie na tym terenie określonych zbiorowisk roślinnych i zwierzęcych.

Literatura

- BABIŃSKI Z. 1992: Współczesne procesy korytowe Dolnej Wisły. Prace Geograficzne 157. PAN, Warszawa.
- BIERNACKI 1975: Holocene and Late Pleistocene alluvial sediments of the Vistula River near Warsaw. *Biuletyn Geologiczny* 19: 199–217.
- FALKOWSKI E. 1971: Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. *Biuletyn Geologiczny* 12: 5–121.
- FALKOWSKI E. 1982: Some regularities of the valley floor evolution of the Middle Vistula River valley. In: L. Starkel, Evolution of the Vistula River valley. during the last 15 000 years. *Geographical Studies*, Special Issue 1: 9–20.
- FALKOWSKI E. 1990: Morphogenetic classification of river valleys developing in formerly glaciated areas for needs of mathematical and physical modeling in hydro technical projects. *Geographia Polonica* 58: 55–67.
- FALKOWSKI T. 2006: Naturalne czynniki stabilizujące wybrane odcinki strefy korytovej Wisły środkowej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- FALKOWSKI T. 2007: Alluvial bottom geology inferred as a factor controlling channel flow along the Middle Vistula River, Poland. *Geological Quarterly* 51 (1): 91–102.

- FALKOWSKI T., ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK H. 2003: Wpływ podłoża aluwiołów na morfologię koryta Wisły w rejonie Góry Kalwarii. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2 (27): 75–81.
- FALKOWSKI T., OSTROWSKI P., SIWICKI P., WIERZBICKI G., KAŁMYKOW-PIWIŃSKA A., BUJAKOWSKI F. 2011: Badania geologiczne strefy korytowej Wisły na odcinku od Wysp Zawadowskich do ujścia Wilanówki w celu oceny wielkości transportu i depozycji rumowiska. Maszynopis. Katedra Geoinżynierii SGGW, Warszawa.
- FLOREK W. 1991: Postglacjalny rozwój dolin rzek środkowej części północnego skłonu Pomorza. Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Słupsku, Słupsk.
- KAŁMYKOW-PIWIŃSKA A. 2012: Zmiany morfologii koryta Wisły w rejonie rezerwatu Wyspy Zawadowskie. Praca magisterska. Maszynopis. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW, Warszawa.
- KOZARSKI S., ROTNICKI K. 1977. Valley floors and changes of river channel patterns in the North Polish Plain during the Late Wurm and Holocenel. *Quaestiones Geographicae* 4: 51–93.
- MIALL A.D. 1996: The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer-Verlag, Berlin.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1978: Rozwój rzeźby fluwialnej północno-zachodniej części Kotliny Sandomierskiej w świetle badań sedymentologicznych. Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- OSTROWSKI P. 2011: Wykorzystanie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych do identyfikacji form rzeźby wybranego fragmentu doliny Bugu. Rozprawa doktorska. Maszynopis. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW, Warszawa.
- OZGA-ZIELIŃSKA M. 1997: O konieczności określenia dla rzek polskich maksymalnych wiarygodnych wezbrań wywołanych maksymalnymi wiarygodnymi opadami. Forum Naukowo-Techniczne – POWÓDŹ 1997. IMGW, Warszawa: 2, 1–10.
- POPEK Z., FALKOWSKI T., OSTROWSKI P. 2009: Analiza potrzeb i możliwości przebudowy koryta Wisły w Warszawie. *Nauka Przyroda, Technologie, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 3, 3: # 97.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 grudnia 1998 r. w sprawie uznania za rezerwat przyrody. Dz.U. z 1998 r. nr 166, poz. 1224.
- STARKE L. 1983: The reflection of hydrologic changes in fluvial environment of the temperate zone during the last 15 000 years. In: Background to Paleohydrology. Ed. J. Gregory. J. Wiley, Chichester: 213–234.
- SYLWESTRZAK J. 1978: Rozwój sieci dolinnej na Pomorzu pod koniec Plejstocenu. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Ossolineum.
- SZUMAŃSKI A. 1986: Postglacjalna ewolucja i mechanizm transformacji dna Doliny Dolnego Sanu. *Zeszyty Naukowe AGH, Geologia* 12, 1: 5–92
- VANDERBERGHE J. 2002: The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary. *Quaternary International* 91: 17–23.
- ŻELAZO J., POPEK Z. 2002: Podstawy renaturyzacji rzek. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

Streszczenie

Ocena stabilności morfologii koryta na podstawie analizy archiwalnych materiałów kartograficznych i fotogrametrycznych wykonywanej w środowisku GIS. Zmienność morfologii koryta Wisły warszawskiej w rejonie rezerwatu Wyspy Zawadowskie oceniono na podstawie analizy materiałów kartograficznych i fotogrametrycznych, obejmujących okres od końca XIX wieku do czasów współczesnych. Dodatkowo przeprowadzono badania terenowe, obejmujące kartowanie geomorfologiczne oraz wiercenia geologiczne w korycie Wisły.

Porównanie zmian układu głównego nurtu oraz zmian morfologii mezoform korytowych z budową geologiczną analizowanej strefy umożliwiło identyfikację stabilnych elementów analizowanego odcinka koryta Wisły.

Summary

Assessment of the channel morphologic stability in the base of archival cartographic and photogrammetric data in GIS environment. Variability of the Vistula River channel morphology of the Zawadowskie Islands zone has been assessed in the base of analysis of the cartographic and photogram-

metric materials covers period from late XIX century up to present times. In addition field works consist of geomorphologic mapping and geologic drillings of the channel zone were accomplished. Comparison between thalweg, as well as channel mesoform location changes with geology of the channel zone enabled recognition of the stable elements of the examined reach.

Author's address:

Tomasz Falkowski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: tamasz_falkowski@sggw.pl
a.kalmykow.piwinska@gmail.com