

Piotr OSTROWSKI

Katedra Geoinżynierii SGGW
Department of Geotechnical Engineering WAU

**Wykorzystanie technologii GPS i środowiska GIS
w badaniach dynamiki procesów korytowych dużych rzek
na przykładzie Wisły Środkowej**
**GPS technology and GIS environment application
for estimation of channel processes of large rivers in example
of Middle Vistula River**

Słowa kluczowe: GPS, środowisko GIS,
koryto rzeki

Key words: GPS, GIS, river channel

Wprowadzenie

Duże rzeki nizinne są specyficznym poligonem w badaniach przyrodniczych. Wykonywanie prac w obrębie ich koryta nastręcza spore problemy techniczne związane z techniką pomiarów i poborem reprezentatywnych dla różnych środowisk prób. Dla uchwycenia dynamiki zmian środowiska pomiaru wykonywać trzeba często przy ekstremalnych stanach wody w rzece. Trudności sprawia także mała dostępność niektórych stref koryta oraz brak stałych, umożliwiających precyzyjną lokalizację, elementów jego topografii. Innym problemem związanym z badaniami środowiska przyrodniczego dolin dużych rzek nizinnych jest konieczność

archiwizowania i analizowania znacznej ilości danych terenowych, własnych i archiwalnych. Dla prawidłowej interpretacji wyników niezwykle ważne jest także właściwe określenie relacji przestrzennych między zebranymi danymi pomiarowymi. Biorąc pod uwagę te czynniki, idealnym narzędziem informatycznym zastosowanym do badań dynamiki procesów korytowych dużych rzek nizinnych wydaje się być środowisko GIS (Geographic Information System), które szczególnie w przypadku zastosowania technologii GPS znacznie ułatwia zarówno prowadzenie prac, jak i analizę ich wyników.

W artykule przedstawiono przykład wykorzystania technologii GPS i środowiska GIS do wykonania pomiarów batymetrycznych koryta Wisły Środkowej. Podjęto także próbę oceny przydatności tej metody do badań dużych rzek nizinnych.

Cel badań

Celem badań było stworzenie map hipsometrycznych dna koryta Wisły na wybranych odcinkach jej środkowego biegu w okresach trwania różnych stanów wody i określenie na ich podstawie dynamiki oraz charakteru zmian jego morfologii. Badania te były częścią grantu KBN nr 8T07G02021 (Związek dynamiki wybranych procesów korytowych ze zróżnicowaniem rzeźby i litologii podłoża aluwiiów na przykładzie doliny Wisły od Annopola do Modlina), oraz grantu uczelnianego nr 50405280011 (Zmiany morfologii koryta rzeki w warunkach silnej antropopresji i ich wpływ na jakość wód ujęć poddennych na przykładzie Wisły w Warszawie). Wyniki badań umożliwić miały ocenę przydatności zintegrowanego zestawu pomiarowego echosonda-GPS do badania morfologii dna dużych rzek nizinnych, a także uzupełnić bazę danych GIS, tworzoną na potrzeby wyżej wymienionych projektów badawczych.

Metoda badań

Zastosowaną metodą badań były pomiary batymetryczne z wykorzystaniem technologii GPS. System pomiarowy składał się z przenośnej echosondy pomiarowej oraz współpracującego z nią odbiornika DGPS.

Podstawowym elementem systemu pomiarowego była echosonda wyposażona w aktywne przetworniki cyfrowe generujące impulsy o częstotliwości od 190 do 210 KHz. Prędkość emitowanej fali dźwiękowej wynosiła $1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,

a szerokość wiązki wahała się w przedziale od 5 do 10°. Minimalna głębokość, przy której można było uzyskać precyzyjny pomiar, wynosiła 35 cm. Echosonda podczas pracy prowadziła punktowy pomiar głębokości akwenu z częstotliwością 1 pomiar na sekundę. Uzyskane dane były zapisywane w jej pamięci wewnętrznej.

Drugim ważnym elementem zestawu pomiarowego był odbiornik DGPS, którego zadaniem było określanie współrzędnych geograficznych punktów pomiarowych. Dzięki wykorzystaniu korekcji DGPS z satelitów geostacjonarnych Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w systemie EGNOS miał on możliwość lokalizowania pozycji z dokładnością lepszą niż 1 m. Otrzymane dane były eksportowane do echosondy i również zapisywane w jej pamięci.

Efektom pracy obu urządzeń była seria punktów pomiarowych o określonych 3 współrzędnych kartezjańskich X, Y, Z, oznaczających odpowiednio długość i szerokość geograficzną oraz głębokość akwenu. Dodatkowo w celu ułatwienia późniejszej analizy danych zapisywany był także czas pomiaru każdego punktu.

Po wykonaniu badań w terenie serie pomiarowe (ok. 10 000 punktów pomiarowych) były eksportowane z pamięci wewnętrznej echosondy do komputera PC w celu dokonania ich dalszej obróbki. Na ich podstawie, za pomocą programu Surfer, sporządzono mapy batymetryczne badanego odcinka.

Ponieważ serie pomiarowe wykonywane były przy różnym napełnieniu koryta, to w celu dokonania analizy porównawczej zmian jego morfologii

konieczne było wzajemne odniesienie do siebie pomiarów głębokości. Na podstawie profili podłużnych w skali 1 : 100 / 1 : 100 000 oraz stanów wody określono rzędne lustra wody w dniu wykonywania badań. Wszystkie wartości pomiarów głębokości przeliczono na metry n.p.m., tak więc ostatecznym wynikiem pracy były mapy hipsometryczne dna koryta.

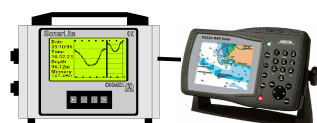
W związku z zastosowaniem technologii GPS analiza otrzymanych wyników odbywała się w środowisku GIS (Geographic Information System) za pomocą oprogramowania ArcGis 8.X. Podkład rastrowy, na którym umieszczono mapy hipsometryczne powstałe na podstawie kolejnych serii pomiarowych, stanowiły skalibrowane mapy

topograficzne wykonane w układzie Pułkowo 42 i skali 1 : 25 000. Schemat sposobu interpretacji pomiarów hydrograficznych przedstawiono na rysunku 1.

Uzyskane wyniki

W ramach prac terenowych przeprowadzono badania morfologii dna koryta Wisły na odcinku warszawskim (od mostu Siekierkowskiego do mostu Łazienkowskiego) oraz w rejonie Góry Kalwarii.

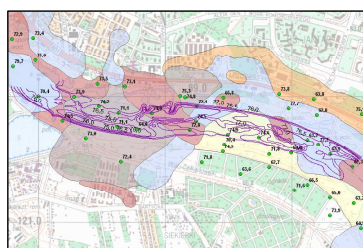
Odcinek Wisły warszawskiej. Pomiaru wykonywano w obrębie zwężenia szerokości tarasu współczesnego, nazywanego "gorsetem warszawskim". Jest to odcinek występowania kulmina-



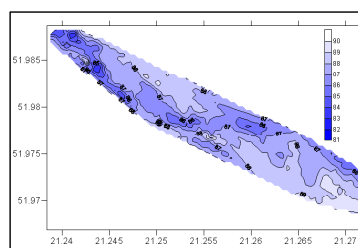
Echosonda sprzężona z odbiornikiem GPS mierzy i zapisuje głębokość oraz pozycję (XYZ)
Echo-Sounder – GPS system measures and registers depth and coordinates (XYZ)

21.0528500	52.2208166	1.63	2003 12 18 11 29 27
21.0528833	52.2208250	1.63	2003 12 18 11 29 28
21.0529166	52.2208333	1.64	2003 12 18 11 29 29
21.0529166	52.2208333	1.64	2003 12 18 11 29 29
21.0529277	52.2208389	1.64	2003 12 18 11 29 30
X	Y	Z	czas

Dane pomiarowe są zapisywane w pamięci wewnętrznej echosondy i eksportowane do komputera PC
Measured data are stored in internal memory of the system and then they are exported to PC



Mapa może zostać zarejestrowana w systemie GIS
The map can be stored in GIS system



Na podstawie danych pomiarowych powstaje mapa hipsometryczna badanego obszaru
On the basis of the gathered data the hipsometric map of the test sit is created

RYSUNEK 1. Schemat sposobu interpretacji pomiarów hydrograficznych
FIGURE 1. Scheme of interpretation the hydrographic measurements

cji podłoża serii aluwialnej, zbudowanej z utworów o większej odporności na erozję (Falkowski 1990, 1999). Powierzchnię tę budują przykryte często rezydualnym brukiem gliny zwałowe, osady wodnolodowcowe, a także skompresowane glaciektogenicznie iły trzeciorzędowe pliocenu. Analizowany odcinek jest silnie przekształcony antropogenicznie. Dynamika procesów korytowych – erozji i sedymentacji – ma tu istotne znaczenie dla jakości wód rzecznych eksploatowanych systemem ujęć poddennych, które dla prawidłowego funkcjonowania wymagają odpowiedniej miąższości naturalnego, aluwialnego złoża filtracyjnego i jego wymiany w wyniku procesów korytowych (Falkowski i in. 2004). Opisywana w literaturze (Zielińska 1960) tendencja do obniżania powierzchni dna stwarza zagrożenie dla prawidłowej pracy ujęcia powierzchniowego, znajdującego się przy ulicy Czerniakowskiej.

Trzy serie pomiarowe na odcinku Wisły warszawskiej wykonywane były w dniach 16 i 23 października 2003 roku i 18 grudnia 2003 roku. Każda z serii składała się z około 10 tysięcy punktów pomiarowych o określonej głębokości i współrzędnych geograficznych. W wyniku interpolacji punktów z każdej serii pomiarowej uzyskano mapę hipsometryczną dna badanego odcinka w dniu pomiaru.

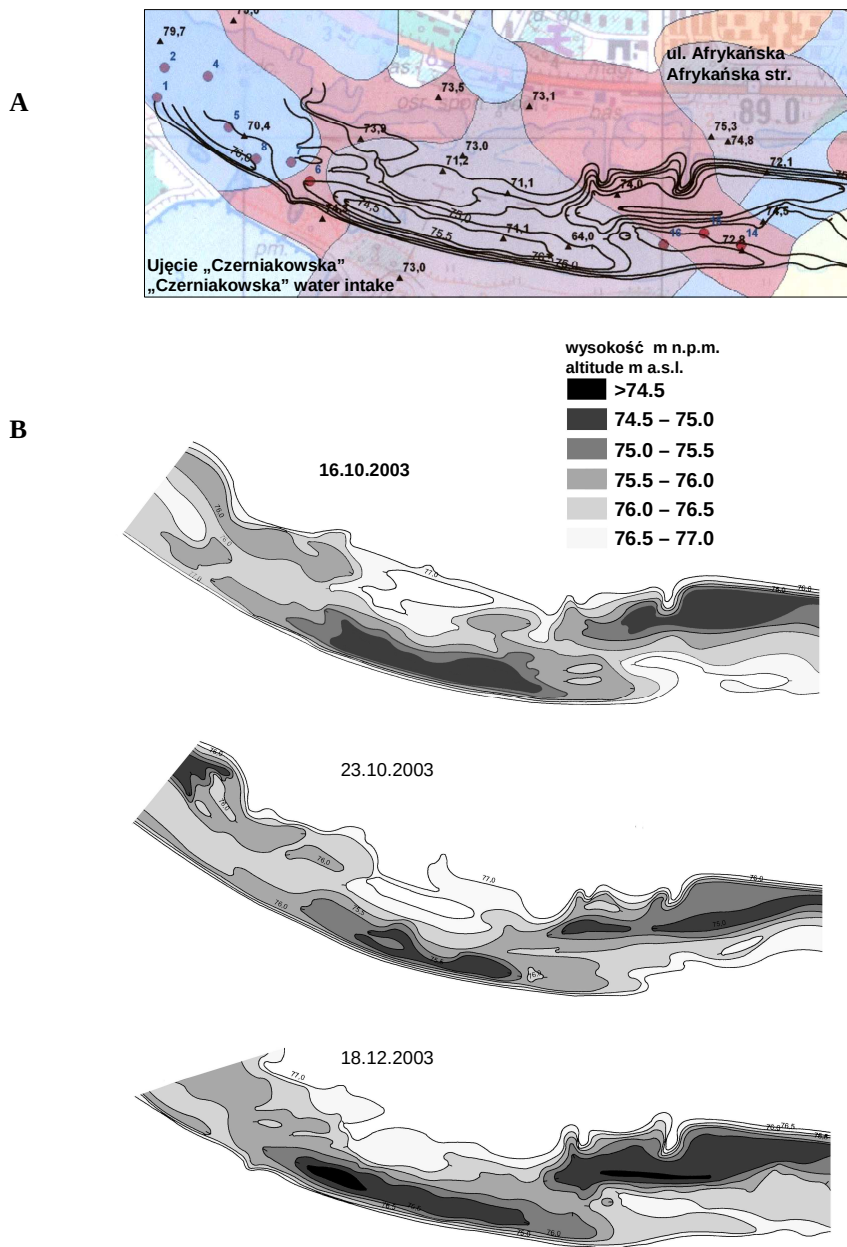
Wszystkie mapy zostały skalibrowane i umieszczone w projekcie GIS na oddzielnych „warstwach”, co umożliwiło ich precyzyjne porównanie i właściwą interpretację otrzymanych wyników. Uproszczone mapy hipsometryczne pokazano na rysunku 2.

Mimo że okres badań był krótki, a stany wody niskie, udało się zaobserwować zmiany w morfologii dna badanego odcinka Wisły.

Strefa największych głębokości występowała przy lewym brzegu Wisły (okolice ujęcia czerniakowskiego) oraz przy prawym brzegu powyżej ulicy Afrykańskiej. Obie formy w okresie badań uległy wydłużeniu i pogłębieniu; minimalna rzędna pierwszej z wymienionych form w dniach 16 października i 23 grudnia 2003 roku wynosiła 75,5 m n.p.m., drugiej – 75,0 m n.p.m. W dniu 18 grudnia 2003 roku w obu miejscach powstały wydłużone, wąskie obniżenia o rzędnej 74,5 m n.p.m.

Strefy akumulacji znajdowały się na przeciwnych brzegach w stosunku do obniżen w dnie. Obie formy miały charakter łąch zbudowanych z piasków korytowych. Pierwsza łącha miała rozmiary sięgające 1/3 szerokości koryta i w okresie badań uległa częściowemu rozmyciu. Druga miała większe rozmiary (1/2 szerokości koryta) i początkowo (16–23 października 2003 r.) powiększyła się, a następnie uległa częściowemu rozmyciu, lecz w stopniu znacznie mniejszym niż pierwsza z łąch. Jej maksymalna wysokość wynosiła ponad 77,5 m n.p.m. i była najwyżej położonym miejscem w całym badanym odcinku.

Koryto Wisły w okolicach Góry Kalwarii. Jest to strefa występowania kulminacji podłoża aluwii zbudowanego z gruboziarnistych osadów fluwiogłacialnych. Morfologia tej powierzchni warunkuje kształt koryta i charakter przebiegających w jego obrębie procesów erozji i akumulacji (Falkowski i Złotoszewska-Niedziałek 2003).



RYSUNEK 2. A – fragment projektu GIS, B – mapy hipsometryczne fragmentu dna koryta Wisły na odcinku warszawskim

FIGURE 2. A – a part of GIS project, B – hipsometric maps of channel bottom of Warsaw Vistula River (a part)

Ma to odzwierciedlenie w morfologii powierzchni tarasowej (kanały ulgi, ślady przepływów wezbraniowych, strefy nasilonej erozji brzegów), a także kształtu i morfologii koryta (np. obecność trwałych makroform depozycyjnych) (Falkowski i Złotoszewska-Niedziałek 2003).

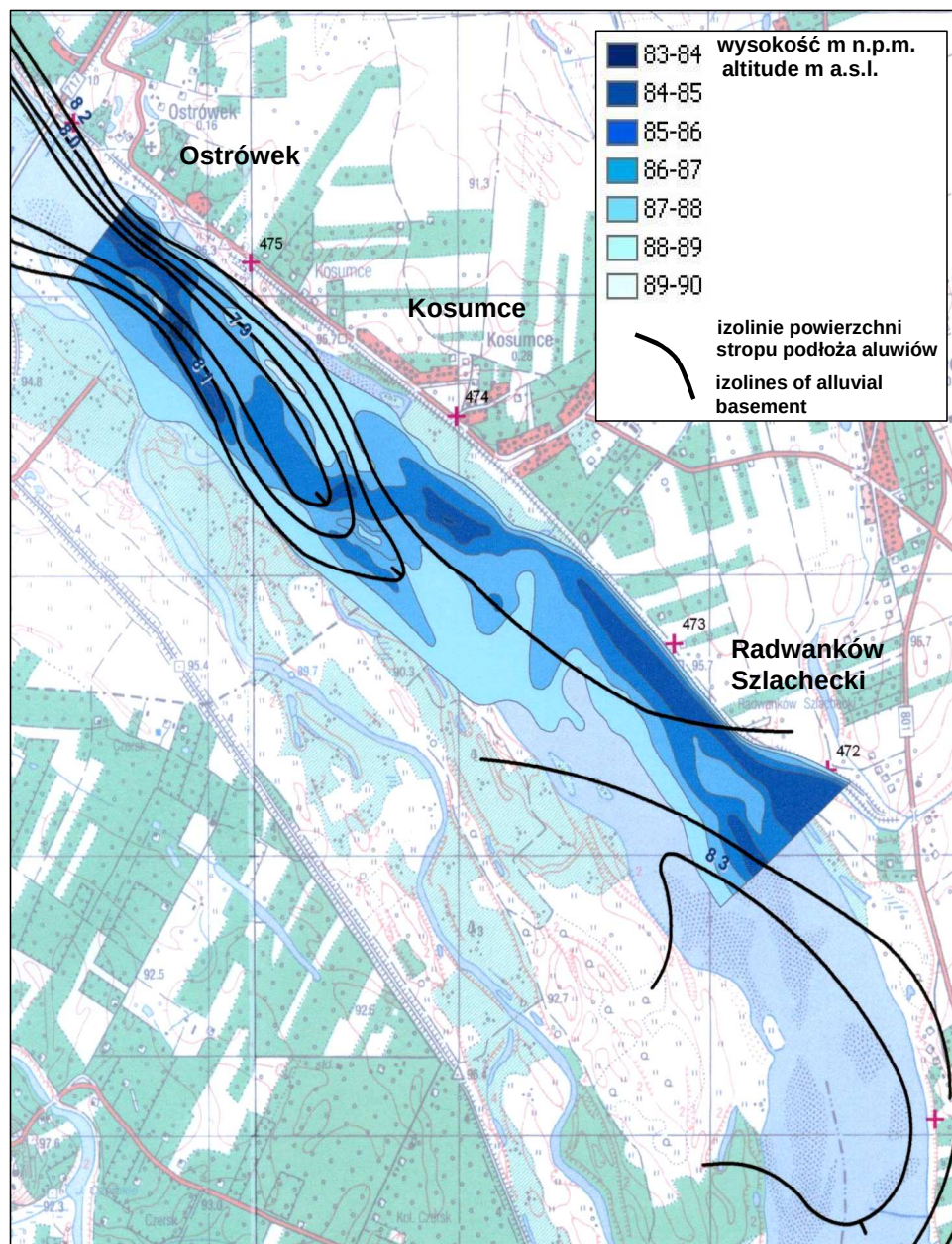
W rejonie Góry Kalwarii 23 marca 2004 roku w czasie wezbrania wykonano echosondaż na odcinku od miejscowości Radwanków Szlachecki do miejscowości Ostrówek (nieco poniżej mostu w Górze Kalwarii). Na podstawie około 12 tysięcy punktów pomiarowych powstała mapa batymetryczna części koryta Wisły pomiędzy 472 a 476 kilometrem. Wyniki echosondażu porównano z wcześniej wykonanymi badaniami geologicznymi, geomorfologicznymi i szkicami fotointerpretacyjnymi. W stosunku do wcześniejszych badań tego odcinka w morfologii koryta nastąpiły stosunkowo niewielkie zmiany.

Strefa największych głębokości występowała na prawym brzegu Wisły na wysokości miejscowości Radwanków Szlachecki i ciągnęła aż do miejscowości Kosumce. Potwierdzało to istnienie na tym odcinku wnęki erozyjnej, będącej początkiem rynny erozyjnej przepływów wezbraniowych (Falkowski i Złotoszewska-Niedziałek 2003). Jej minimalna rzędna wynosiła 83 m n.p.m. W środkowej części badanego odcinka, na wysokości miejscowości Kosumce (474 km), główna linia nurtu przechodziła na drugą stronę koryta. Po lewej stronie nurtu zaobserwowano niewielkie wypłylenie dna o rzędnej 89 m n.p.m. Między 474 a 476 km strefa maksymalnych głębokości (nurt) z powrotem kierowała się ku prawemu brzegowi,

osiągając go na wysokości miejscowości Ostrówek. Na 475 km stwierdzono istnienie, leżącego bliżej prawego brzegu, wypłylenia o rzędnej 90 m n.p.m. i długości około 200 m. Mapę hipsometryczną badanego odcinka na tle ukształtowania stropu podłoża aluwii (Falkowski i Złotoszewska-Niedziałek 2003) pokazano na rysunku 3.

Wnioski

1. Echosondaż z zastosowaniem technologii GPS pozwala na stosunkowo łatwe dokonywanie pomiarów na dużych obszarach. Dwuosobowy zespół badawczy jest w stanie w ciągu kilkunastu minut dokonać pomiaru odcinka długości powyżej kilometra przy nawet kilkusetmetrowej szerokości koryta. Cały proces rejestracji danych odbywa się automatycznie, a brak czasochłonnnych procedur minimalizuje koszty.
2. Określenie współrzędnych geograficznych punktów pomiarowych umożliwia precyzyjne określenie relacji przestrzennych między nimi i nie wymaga kłopotliwych pomiarów w terenie. Uzyskane w wyniku pomiarów punkty o określonych trzech współrzędnych kartezjańskich analizować można na wiele sposobów, uzyskując nie tylko mapy batymetryczne, hipsometryczne, ale i numeryczne modele dna przedstawione w trójwymiarowej przestrzeni.
3. Zastosowana metoda jest stosunkowo tania – pozwala na rejestrowanie zmian morfologii koryta nawet



RYSUNEK 3. Mapa hipsometryczna koryta Wisły w rejonie Góry Kalwarii na tle ukształtowania stropu podłoża aluwii
FIGURE 3. Hypsometric map of Vistula River channel in vicinity of Góra Kalwaria with configuration of the alluvial basement surface

w przypadku utrzymujących się przez cały okres pomiarowy niskich stanów wody.

4. Otrzymane w trakcie badań mapy batymetryczne i hipsometryczne stanowią uzupełnienie prowadzonych równolegle badań geologicznych i geomorfologicznych (w tym analizy zdjęć lotniczych) i potwierdzają tendencje przebiegu procesów korytowych.
5. Wprowadzenie wyników pomiarów batymetrycznych do systemu GIS ułatwia ich właściwą interpretację oraz umożliwia porównanie z innymi wynikami znajdującymi się w tej bazie danych. Technologia GIS umożliwia także rozbudowę projektu badawczego o dane zdobywane w przyszłości, materiały archiwalne oraz pełne wykorzystanie zgromadzonych informacji w innych projektach wykonanych tą techniką.
6. Główną przeszkodą w szerokim zastosowaniu technologii GIS jest obecnie stosunkowo czasochłonne przygotowanie podkładu rastrowego projektu. Wymaga to dużej staranności, gdyż błędy popełnione w procesie skanowania i kalibracji map, w przypadku zastosowania technologii GPS, uniemożliwiają dalszą pracę. Problem ten powinien zniknąć w ciągu kilku najbliższych lat, kiedy to dostępne staną się wektorowe mapy terytorium Polski w dużych, odpowiednich dla charakteru prowadzonych badań, skalach.

Literatura

FALKOWSKI E. 1990: Morphogenetic classification of river valleys in formerly glaciated

areas for the needs of mathematical and physical modeling in hydro technical projects. *Geographia Polonica* 58: 57–68.

FALKOWSKI T. 1999: Geologiczne warunki naturalnej stabilizacji układu pionowego koryta Wisły w Warszawie. *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska* 17: 129–136.

FALKOWSKI T., ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK H. 2003: Wpływ podłoża aluwii na morfologię koryta Wisły w rejonie Góry Kalwarii. *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska* 27: 75–81.

FALKOWSKI T., KIEDRYŃSKA L., NOWAK B., PACHOLEC B., ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK H. 2004: Jakość wód eksploatowanych ujęciem poddenym w Warszawie, *ibidem*.

ZIELIŃSKA M. 1960: Zmiana niwelety Wisły w Warszawie na tle zmian profilu podłużnego środkowej Wisły. *Gospodarka Wodna* 11.

Adnotacje

W artykule wykorzystano wyniki badań uzyskane w ramach grantu KBN nr 8T07G02021 oraz grantu uczelnianego SGGW nr 50405280011.

Summary

GPS technology and GIS application for estimation of channel processes of large rivers in example of Middle Vistula River. The paper presents results of bathymetric measurements, carried out in Middle Vistula River, using integrated Echo-Sounder – GPS system. The aim of investigations was estimation of channel, bottom morphology changes, between different water stages in Warsaw and alluvial basement morphology influence on bottom morphology. The assessment of application of GIS and GPS for large rivers morphology has been also discussed.

Author's address:

Piotr Ostrowski
Szkół Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland
e-mail: ostrowskip@alpha.sggw.waw.pl