

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 57, 2012: 151–158
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 57, 2012)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 57, 2012: 151–158
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 57, 2012)

Piotr OSTROWSKI, Tomasz FALKOWSKI

Katedra Geoinżynierii, Zakład Hydrogeologii SGGW w Warszawie
Department of Geotechnical Engineering, Division of Hydrogeology WULS – SGGW

GIS jako narzędzie integrujące metody badań morfologii dna doliny Bugu na odcinku jego Podlaskiego Przełomu **GIS as a integrating tool for the research methods of the Bug River valley morphology in Podlasie**

Słowa kluczowe: systemy informacji geograficznej (GIS), geomorfologia fluwialna, dolina Bugu

Key words: geographical information systems (GIS), fluvial geomorphology, Bug River valley

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój nowych metod pozyskiwania danych o środowisku w połączeniu z upowszechnieniem się technologii GIS (Geographical Information Systems) i GPS (Global Positioning System) umożliwia rozwiązywanie problemów o interdyscyplinarnym charakterze. Przykładem takim mogą być badania morfologii den dolin rzecznych na Niziu Polskim. Prawidłowa identyfikacja występujących w ich obrębie form rzeźby wiąże się z koniecznością prowadzenia badań z zakresu geologii, geomorfologii, hydrologii oraz sedymentologii, a często także gleboznawstwa i fitosocjologii. Zastosowanie technologii GIS pozwala na

łączenie informacji geomorfologicznej z innymi typami danych (Minar i Evans 2008, Dmowska i in. 2010), co może być niezwykle pomocne, zwłaszcza w analizie przebiegu procesów fluwialnych, głównego czynnika kształtującego równię zalewową. W artykule przedstawiono przykład wykorzystania GIS jako narzędzia integrującego różne metody badań morfologii dna doliny Bugu w strefie jego Podlaskiego Przełomu.

Problem badawczy

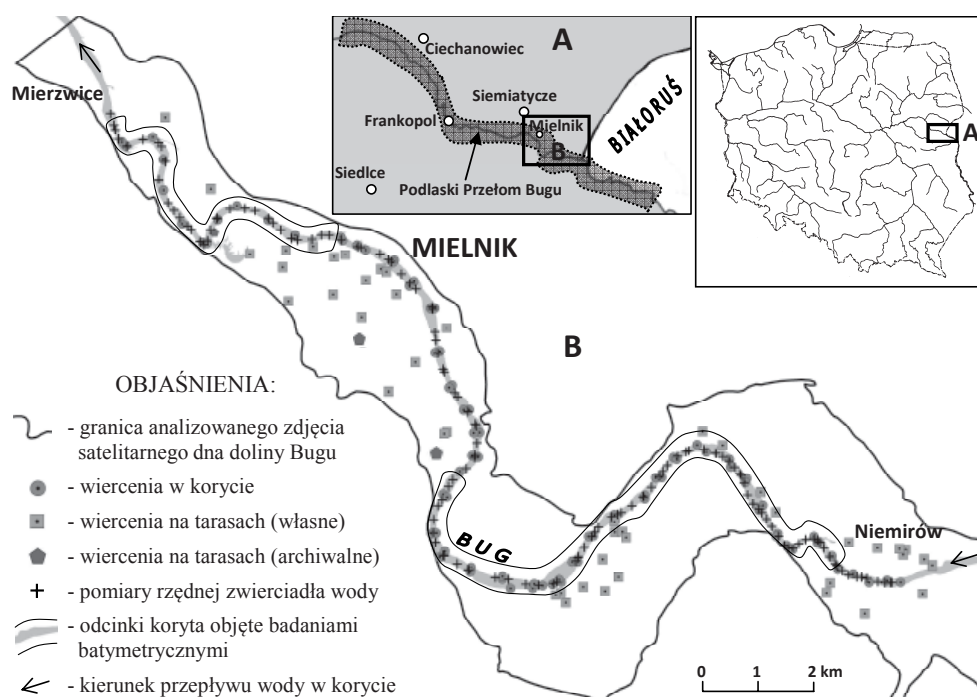
W przypadku dolin rzecznych Niziu Polskiego jednym z istotnych czynników wpływających na przebieg wezbrań, a tym samym pośrednio na morfologię powierzchni tarasu zalewowego jest budowa geologiczna strefy korytowej, a zwłaszcza morfologia i litologia powierzchni stropu podłoża aluwiiów (Falkowski 2006).

Celem prowadzonych badań była identyfikacja form rzeźby równi zalewowej, genetycznie powiązanych z występującymi w strefie korytowej odpornymi na erozję kulminacjami podłoża współczesnych osadów rzecznych. Rozwiązanie problemu badawczego wymagało określenia relacji przestrzennych zachodzących między budową geologiczną a poszczególnymi elementami morfologicznymi dna doliny.

Specyfika obszaru badań

Identyfikacja współczesnych form rzeźby dna doliny, szczególnie w kontekście analizy ich morfogenezy, wymaga

łała wyboru poligonu badawczego, na którym procesy rzeźbotwórcze byłyby w jak najmniejszym stopniu zaburzone przez czynniki antropogeniczne. Kryteria takie spełnia fragment doliny Bugu w strefie Podlaskiego Przełomu. Na odcinku od Niemirowa (granica polsko-białoruska) do miejscowości Mierzwice (rys. 1) dolina tylko w niewielkim stopniu uległa przekształceniom antropogenicznym. W strefie korytowej nie występują elementy infrastruktury hydrotechnicznej, takie jak budowle regulacyjne czy wały przeciwpowodziowe. Znaczna część dna doliny nie jest także intensywnie użytkowana rolniczo – w związku z okresowym podtapianiem



RYSUNEK 1. Położenie badanego fragmentu doliny Bugu (A); lokalizacja ważniejszych badań terenowych oraz granica obszaru fotointerpretacji wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych (B)
 FIGURE 1. Location of the study reach Bug River valley (A); localization of the field tests and area of the remote sensing VHR satellite images (B)

(głównie w czasie wiosennych wezbrań roztopowych) dominują ekstensywnie użytkowane łąki, pastwiska i nieużytki.

Narzędzie badawcze i schemat prowadzonych prac

Konieczność zgromadzenia i wspólnej analizy informacji geoprzestrzennych pozyskanych kilkoma odmiennymi od siebie metodami oraz prowadzenia prac kameralnych w różnych skalach zadecydowała o wyborze środowiska GIS jako narzędzia badawczego. Bazę danych obejmującą dolinę Bugu od Niemirowa do Mierzwic wykonano, wykorzystując oprogramowanie GIS typu „desktop” (ArcView firmy ESRI Inc.). Ze względu na specyfikę doliny Bugu badania terenowe prowadzono z zastosowaniem technologii GPS i RTK (Real Time Kinematic), a wyniki prac kameralnych zweryfikowano, wykorzystując mobilny GIS. Wszystkie dane w celu wspólnej analizy sprowadzono do tego samego układu współrzędnych (PUWG Pułkowo strefa 4). Uproszczoną konstrukcję bazy danych i schemat prowadzonych prac przedstawiono na rysunku 2.

Dane wejściowe

Trzema podstawowymi grupami danych wejściowych do budowy bazy danych GIS były: materiały archiwalne, wyniki prac terenowych oraz materiały teledetekcyjne. Pierwszym etapem prac było zarejestrowanie (rektyfikacja) w bazie danych rastrowych materiałów archiwalnych – map topograficznych w skali 1 : 25 000, szczegółowych map geologicznych Polski (SMGP) w skali

1 : 50 000, Mapy geologicznej Polski (MGP) w skali 1 : 200 000, oraz wprowadzenie wektorowej warstwy informacyjnej z kilometrażem rzeki, będącej częścią Komputerowej mapy podziału hydrograficznego Polski (MPHP). Dzięki temu dla całego obszaru badawczego uzyskano podkład rastrowy (mapę rastrową), zawierający zgeneralizowane informacje topograficzne, geomorfologiczne i geologiczne. Kilometraż rzeki stanowił dodatkowy punkt odniesienia w przypadku prac kameralnych wykonywanych w dużych skalach oraz pomoc we właściwej interpretacji danych opisowych. Analizę materiałów archiwalnych wykorzystano do wyboru lokalizacji, metod i określenia zakresu prac terenowych.

Kolejnym etapem budowy bazy danych było umieszczenie w niej wyników prac terenowych oraz materiałów teledetekcyjnych. Najważniejszymi wynikami prac terenowych były: lokalizacja oraz profile 81 sondowań geologicznych w korycie i 46 w dnie doliny, trzy echosondáže obejmujące łącznie 101 172 punktowych pomiarów głębokości wody w korycie oraz 94 pomiary rzędnej zwierciadła wody. Badania batymetryczne wykonano za pomocą zestawu hydrograficznego, składającego się z echosondy zintegrowanej z różnicowym odbiornikiem GPS współpracującym z systemem EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Pomiary rzędnej zwierciadła wody wykonano za pomocą zestawu GPS-RTK. Wszystkie pomiary wykonane zostały przy średnim stanie wody.

Materiałami teledetekcyjnymi były wysokorozdzielcze, wielospektralne zdjęcia satelitarne doliny Bugu wykona-

ne przez satelitę IKONOS 2 od maja do końca sierpnia 2007 roku w ramach projektu badawczego MNIł nr 2P04E06929 zrealizowanego w Zakładzie Hydrogeologii Katedry Geoinżynierii SGGW w Warszawie. W bazie danych umieszczono sporządzoną na ich podstawie ortofotomapę o ultrawysokiej, według klasyfikacji Ehlersa i innych (2002), rozdzielczości przestrzennej, wynoszącej 0,82 m. Zapisano ją w postaci dwóch warstw informacyjnych – kompozycji w barwach naturalnych RGB (jeden zbiór dla trzech pasm: czerwonego, zielonego i niebieskiego) i nienaturalnych NRG (jeden zbiór dla trzech pasm: podczerwonego, czerwonego i zielonego). Ze względu na charakter prowadzonych prac, typ zobrazowań satelitarnych i specyficzne cechy analizowanych obiektów zdecydowano się na metodę klasyfikacji manualnej, która mimo dużej czasochłonności jest powszechnie uznawana za najdokładniejszą (Adamczyk i Będkowski 2007).

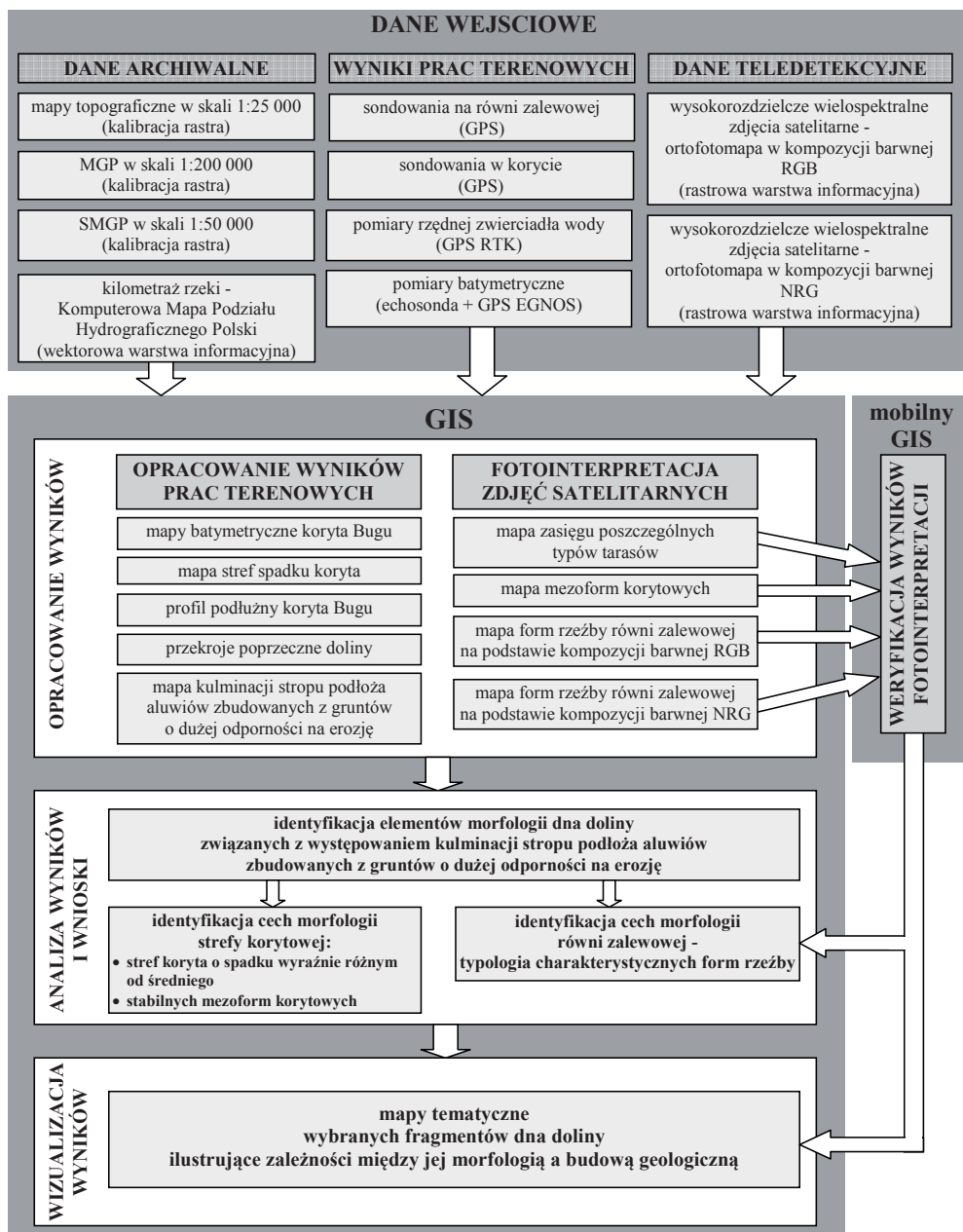
Opracowanie wyników

Na podstawie danych archiwalnych i wyników badań terenowych wykonano profil podłużny koryta Bugu na odcinku długości 23,5 km (km 174,5–198,0) oraz 12 przekrojów poprzecznych przez fragmenty doliny. Profil podłużny koryta przedstawiał litologię współczesnych osadów rzecznych wyinterpretowaną wzdłuż linii głównego nurtu, a także morfologię i litologię stropu ich podłoża. Przy sporządzaniu profilu podłużnego, oprócz badań terenowych, korzystano także z wyników fotointerpretacji widocznych na zdjęciach satelitarnych mezoform korytowych oraz wyników pomiarów batymetrycznych.

Na podstawie echosondazy wykonano trzy mapy batymetryczne fragmentów dna koryta. Dane zapisane w pamięci wewnętrznej echosondy (współrzędne geograficzne punktów pomiarowych i ich głębokość) wprowadzono do bazy GIS i uzupełniono o dane uzyskane ze zdjęć satelitarnych. Obejmowały one współrzędne geograficzne punktów o zerowej głębokości (zlokalizowanych poza korytem i w obrębie utrwalonych roślinnością wysp) oraz współrzędne geograficzne punktów zlokalizowanych w strefach, w których, ze względu na zbyt małą głębokość (< 0,3 m), nie można było zastosować zestawu hydrograficznego. Wspólna interpolacja danych z obu źródeł znacznie ułatwiła wykonanie i podniosła wiarygodność map batymetrycznych.

Na podstawie fotointerpretacji wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych w obu kompozycjach barwnych określono typy i zasięg poszczególnych tarasów, zidentyfikowano mezoformy korytowe oraz charakterystyczne formy rzeźby dna doliny. W pracach tych duże znaczenie miała możliwość jednoczesnego porównywania 4 rastrowych warstw informacyjnych: ortofotomapy w barwach naturalnych (RGB) i nienaturalnych (NRG) oraz mapy topograficznej i SMGP. Precyzyjne określenie granic form rzeźby i zasięgu tarasów w wielu przypadkach wymagało jednoczesnego korzystania z 4 wymienionych wyżej warstw rastrowych oraz warstw wektorowych, będących efektem wstępnej fotointerpretacji widocznych na zdjęciach form rzeźby.

Wynikiem opracowania danych wejściowych był szereg wektorowych warstw informacyjnych (rys. 2), które posłużyły do dalszych analiz.



RYSUNEK 2. Uproszczony schemat struktury bazy GIS i analizy danych; w przypadku danych wejściowych w nawiasach podano sposób ich pozyskania lub źródło atrybutów georeferencyjnych
 FIGURE 2. Simplified scheme of the GIS database structure and data analysis; the source georeferenced attributes of the input data or the way was obtained is shown in the parentheses

Weryfikacja wyników fotointerpretacji

Poprawność identyfikacji widocznych na zdjęciach satelitarnych form rzeźby powierzchni tarasów zweryfikowano podczas rozpoznania terenowego wykonanego po zakończeniu prac kameralnych. Do prac tych zastosowano zestaw działający w technologii mobilnego GIS-u, składający się z przenośnego urządzenia typu „palmtop” zintegrowanego z odbiornikiem GPS oraz oprogramowania ArcPad firmy ESRI Inc. Zestaw ten zapewniał dokładną lokalizację form w terenie przy jednoczesnej możliwości analizowania ich obrazu satelitarnego oraz wyników fotointerpretacji. Podczas weryfikacji poprawności fotointerpretacji wykonano także dokumentację fotograficzną każdej z form. Dokumentacja ta uzupełniła bazę danych.

Analiza wyników i wnioski

Na podstawie interpretacji profilu podłużnego koryta zidentyfikowano 12 kulminacji stropu podłoża współczesnych osadów rzecznych, zbudowanego z gruntów o dużej odporności na erozję. Wspólna analiza wyników badań geologicznych i geomorfologicznych, a w szczególności relacji przestrzennych między lokalizacją kulminacji stropu podłoża aluwiiów a morfologią strefy korytowej i równi zalewowej, pozwoliła na odtworzenie przypuszczalnego przebiegu kształtujących dno doliny procesów – zwłaszcza morfotwórczej działalności wielkich wód. Dzięki temu zidentyfikowano i sklasyfikowano 13 rodzajów erozyjnych i akumulacyjnych form rzeźby tarasów genetycznie powiązanych z występującymi w strefie korytowej kulmi-

nacjami stropu podłoża aluwiiów zbudowanych z gruntów o dużej odporności na erozję. Stwierdzono także, że z występowaniem kulminacji związane są inne elementy morfologii dna doliny – znacznych rozmiarów trwale mezofornie korytowe (utrwalone roślinnością wyspy) oraz strefy koryta o spadku znacznie różnym od średniego dla całego badanego odcinka.

Wizualizacja wyników

Wizualizację wyników stanowiła seria map tematycznych wybranych fragmentów dna doliny wygenerowana z poziomu bazy danych. Na tle obrazu satelitarnego przedstawiono jednocześnie szereg warstw informacyjnych istotnych dla zrozumienia kluczowej, zdaniem Migonia (2006), zależności między formami rzeźby a procesami, które doprowadziły do ich powstania. Najważniejszymi z tych warstw były: wektorowy szkic geomorfologiczny (zawierający informację na temat granic i typów tarasów), lokalizacja stref kulminacji stropu podłoża aluwiiów, formy rzeźby powierzchni tarasów genetycznie powiązane z kulminacjami oraz przebieg głównych kierunków przepływu wód wezbraniowych. Niektóre mapy zawierały dodatkowo warstwy z mezoforniami korytowymi oraz morfologią dna koryta (fragmentami map batymetrycznych).

Ocena przydatności technologii GIS w badaniach morfologii dna doliny Bugu

Charakterystyczne dla Niżu Polskiego cechy doliny (znaczna szerokość tarasów zalewowych, zróżnicowane roz-

miary i niewielkie wysokości względne niektórych form, brak wodowskazów i wiarygodnej osnowy geodezyjnej czy też mała dostępność wielu obszarów) znacznie utrudniały prowadzenie badań terenowych klasycznymi metodami. Analiza zgromadzonych w bazie danych GIS materiałów archiwalnych ułatwiła wybór metod, ustalenie optymalnego zakresu i zaplanowanie tych prac. Zastosowanie ściśle powiązanych z GIS-em technologii GPS i RTK skróciło czas i zmniejszyło koszty ich wykonania. Na uwagę zasługuje fakt, że wszystkie pozyskane w wyniku prac terenowych dane źródłowe posiadały atrybuty georeferencyjne, a więc były gotowe do umieszczenia w bazie danych.

Zastosowanie technologii GIS umożliwiło opracowanie i wspólną analizę wyników prowadzonych różnymi metodami prac terenowych (badań geologicznych, geomorfologicznych, batymetrycznych, geodezyjnych) oraz prac kameralnych – głównie fotointerpretacji wysokorozdzielczych wielospektralnych zdjęć satelitarnych. W procesie opracowania wyników bardzo istotna była możliwość „postprocesingu” danych źródłowych pozyskanych w wyniku badań terenowych razem z danymi teledetekcyjnymi zarejestrowanymi (w czterech zakresach promieniowania) przez satelitę IKONOS 2. Z poziomu bazy stosunkowo łatwo wizualizowano wyniki poszczególnych etapów prowadzonych prac. Generowane na tej podstawie wektorowe warstwy informacyjne były narzędziem do prowadzenia kolejnych analiz.

Zastosowane narzędzie badawcze umożliwiło wykonanie precyzyjnych pomiarów morfometrycznych oraz analiz przestrzennych między różnymi ele-

mentami budowy dna doliny Bugu. Pozwoliło to na odtworzenie przypuszczalnego przebiegu wezbrań (zwłaszcza mającej największe znaczenie morfotwórcze działalności wielkich wód) i w konsekwencji ustalenie zależności między budową geologiczną dna doliny a elementami morfologii jej powierzchni. Efektem tych prac była identyfikacja i klasyfikacja charakterystycznych form rzeźby tarasów zalewowych oraz cech morfologii strefy korytowej związanych z występowaniem odpornych na erozję kulminacji stropu podłoża współczesnych aluwii.

Zastosowanie mobilnego GIS-u ułatwiło weryfikację poprawności fotointerpretacji form rzeźby na wysokorozdzielczych wielospektralnych zdjęciach satelitarnych i znacznie podniosło jej wiarygodność. Analiza wyników fotointerpretacji w terenie umożliwiła identyfikację i potwierdzenie genezy form, które ze względu na cechy morfometryczne i specyfikę doliny były trudne do rozpoznania podczas wykonywania prac terenowych.

Podsumowanie

W przypadku Bugu na odcinku od Niemirowa do Mierzwic systemy informacji geograficznej okazały się skutecznym narzędziem integrującym badania dna doliny rzecznej w niewielkim stopniu przekształconej w wyniku działalności człowieka. Zastosowana technologia okazała się przydatna na wszystkich etapach prac prowadzących do rozwiązania problemu badawczego. Pozwoliła ona na integrację i wspólną analizę danych pozyskanych różnymi metodami, a także

na opracowanie, weryfikację i wizualizację wyników.

Przeprowadzone badania pozwalają przypuszczać, że GIS może być skutecznym narzędziem do badania morfologii den dolin rzecznych na Niżu Polskim. Powinien być zatem szerzej wykorzystywany nie tylko w geomorfologii fluwialnej, ale także w innych dziedzinach, w których istotne znaczenie ma analiza warunkowanego przez wiele czynników przebiegu procesów korytowych i pozakorytowych – inżynierii rzecznej czy też ochronie przeciwpowodziowej.

Literatura

- ADAMCZYK J., BĘDKOWSKI K. 2007: Metody cyfrowe w teledetekcji. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- DMOWSKAA., GUDOWICZ J., ZWOLIŃSKI Z. 2010: Cyfrowa adaptacja analogowych map geomorfologicznych. *Landform Analysis* 12: 35–47.
- EHLERS M., JANKOWSKY R., GÄHLER M. 2002: New Remote Sensing Concepts for Environmental Monitoring. In: Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications and Geology. Ed. M. Ehlers. Proceedings of SPIE 4545: 1–12.
- FALKOWSKI T. 2006: Naturalne czynniki stabilizujące wybrane odcinki strefy korytovej Wisły środkowej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- MIGOŃ P. 2006: Geomorfologia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- MINAR J., EVANS I.S. 2008: Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology* 95: 236–259.

Streszczenie

GIS jako narzędzie integrujące metody badań morfologii dna doliny Bugu

na odcinku jego Podlaskiego Przełomu.

Artykuł przedstawia przykład wykorzystania technologii GIS w badaniach morfologii i morfogenezy fragmentu dna doliny rzecznej charakteryzującej się dużym stopniem naturalności. W bazie danych zgromadzono i poddano wspólnej analizie dane pozyskanych w wyniku badań geologicznych, geomorfologicznych, batymetrycznych pomiarów geodezyjnych oraz teledetekcyjnych (wysokorozdzielcze wielospektralne zdjęcia satelitarne wykonane przez satelitę IKONOS 2). W artykule omówiono konstrukcję bazy danych, schemat przeprowadzonych w jej obrębie prac służących do rozwiązania problemu badawczego oraz oceniono przydatność zastosowanego narzędzia.

Summary

GIS as an integrating tool for the research methods of the Bug River valley morphology in Podlasie. The paper presents an example of morphogenetic investigation of the semi-natural river valley reach with application of GIS technology. Results of geological, geomorphologic, hydrologic (bathymetry) field works, as well as remote sensing analysis of Very High Resolution (VHR) satellite images taken by IKONOS 2 were analysed in GIS environment. This paper shows the database constructions as well as the scheme of works done for the assessment of the research problem with usage of GIS technology.

Authors' address:

Piotr Ostrowski, Tomasz Falkowski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Budownictwa i Inżynierii i Środowiska
Katedra Geoinżynierii, Zakład Hydrogeologii
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa
Poland
e-mail: piotr_ostrowski@sggw.pl
tomasz_falkowski@sggw.pl