

Anna Bogusz, Tomasz Orczykowski, Maciej Zdrzewicz

**INTERPOLACJA PRZESTRZENNA KORYTA RZEKI
NA POTRZEBY MODELOWANIA
– PORÓWNANIE METOD**

***RIVERBED INTERPOLATION FOR MODELING
– METHODS COMPARISON***

Streszczenie

Jednym z istotnych problemów modelowania hydraulicznego jest właściwe odwzorowanie geometrii koryta i doliny cieków. W przypadku modeli dwuwymiarowych, głównym źródłem informacji przestrzennych są dane pozyskane metodą skaningu laserowego (ALS). Pomimo swojej generalnie dużej dokładności w dolinie, nie odwzorowują one jednak koryta rzeki, co wynika z procesu pozyskiwania materiału, podczas którego użyta wiązka laserowa nie jest w stanie penetrować głębi wody i zostaje odbita od lustra, bądź zaabsorbowana przez wodę. Konieczne jest więc uzupełnianie batymetrii koryta właściwego na podstawie danych ze standardowych pomiarów geodezyjnych, z wykorzystaniem metod interpolacyjnych w celu uzyskania ciągłości przestrzennej. W przypadku modeli jednowymiarowych czy quasi -dwuwymiarowych pomiary geodezyjne są głównym źródłem danych geometrycznych, jednak ze względu na pracochłonność oraz duże koszty, przekroje poprzeczne wykonywane są najczęściej w zbyt dużych odległościach od siebie. Prowadzi to do pojawiania się niestabilności w modelach, a w przypadku rzek meandrujących, dochodzi do dublowania bądź pomijania części natężenia przepływu podczas symulacji. W celu stworzenia poprawnego modelu zachodzi więc konieczność zagęszczenia przekrojów pomierzonych w terenie. Podobnie jak w przypadku modelowania dwuwymiarowego, część dolinową pozyskać można z danych lidarowych, jednak uzupełnienie geometrii koryta właściwego opiera się na metodach interpolacyjnych.

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie możliwości uzupełniania informacji o przekrojach korytowych na przykładzie dwóch metod: z poziomu systemu modelowania MIKE 11 oraz narzędzia własnego, wykorzystującego aplikację ArcGIS, jak również wskazanie wad i zalet każdej z nich.

Słowa kluczowe: batymetria, modelowanie jednowymiarowe, modelowanie dwuwymiarowe, GIS

Summary

One of the important problems of hydraulic modeling is the appropriate representation of the geometry of the main river channel and valley. In the case of two-dimensional models, the main source of spatial information is data obtained by laser scanning (ALS). In spite of its generally high precision in the valley, the result for main riverbed doesn't correspond to the reality, due to the data acquisition process. During the process, laser beam is not able to penetrate the water, most of the beam is absorbed by the water and there is either no return signal or it is very weak and distorted. It is therefore necessary to generate the channel bathymetry data by conducting the interpolation technics on the data collected by the field survey. In the case of one-dimensional models or quasi-two-dimensional the field measurements are the main source of geometric data, but due to high labor costs, the measurements of the cross-sections are usually performed at large intervals. Sparse cross-section data lead to instability in the models, and also in the case of meandering rivers, portion of the discharge may be omitted or doubled. Solution to the problem is a densification of the cross-sections data inserted in to the model. Additional spatial data for the terrain can be derived from the digital elevation model (DEM) and data for the river channel needs to be interpolated from measured cross-sections. The main goal of this paper is to present methods of the channel bathymetry data interpolation and to highlight the advantages and the disadvantages of the assessed technics. Described interpolation technics are carried out either in ArcGIS or MIKE 11 applications.

Key words: bathymetry, one-dimensional modeling, two-dimensional modeling, GIS

WSTĘP

Wiedza na temat procesów fizycznych zachodzących w przyrodzie oraz forma jej matematycznego zapisu, którą często określa się mianem modelowania zjawisk, nieustannie rozwija się i ulega przeobrażeniom [Kopacz M., 2004]. Jest to wynikiem rosnących potrzeb, jak i zwiększających się możliwości poznawczych i obliczeniowych. Rosnące potrzeby to między innymi określanie, ciągle zmniejszających się, dostępnych zasobów wody pitnej, przepływów na potrzeby wymiarowania urządzeń wodnych czy określania susz, wyznaczania stref zalewu powodziowego, jego głębokości, prędkości przepływu itp. Z kolei rosnący postęp technologiczny umożliwia doskonalenie aparatury pomiarowej, czego skut-

ki można zauważyć już teraz. Dotychczasowe obserwacje stanów wody, opadu, czy temperatury rejestrowane przez obserwatorów w konkretnych terminach, zastępowane są przez pomiary zapisywane i transmitowane przez automatyczne stacje telemetryczne nawet z interwałem 10-15 minutowym. Rozwój technik satelitarnych, przetwarzania zdjęć lotniczych, skaningu laserowego lotniczego i naziemnego umożliwiają pozyskiwanie ciągłej informacji przestrzennej.

Niestety, pomimo pojawienia się tak wysoko zaawansowanych technik, nie są one pozbawione wad, co powoduje, że ich stosowalność może być znacznie ograniczona. Przykładem może być zastosowanie Numerycznego Modelu Terenu (NMT) pochodzącego ze skaningu laserowego (ALS) dla modelowania hydraulicznego. Podczas procesu skanowania wiązka lasera mierzy odległość między powierzchnią terenu, a urządzeniem skanującym, ale natrafiając na powierzchnię wody, jest przez nią absorbowana [Borkowski A., Gołuch P., Wehr A., 2006]. Powoduje to pozyskanie informacji ciągłej, ale w tym konkretnym obszarze - błędnej. Jednocześnie pomiary geodezyjne przekrojów poprzecznych rzeki i doliny rzecznej, stanowiące podstawę dla budowy modeli jednowymiarowych, posiadają informacje dla obszarów „niedostępnych” dla ALS, tj. poniżej lustra wody. Jednak i ten materiał także posiada ograniczenia wynikające z jego jednowymiarowości. W przypadku konieczności wyznaczenia dodatkowych przekrojów między już pomierzonymi, użytkownikowi pozostaje zastosowanie interpolacji (z uwagi na koszty i czas realizacji wyznaczenia przekroju, kolejne pomiary geodezyjne zostały pominięte).

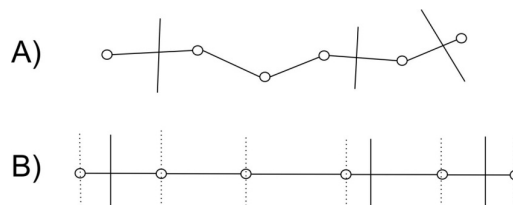
Z punktu widzenia modelowania hydraulicznego najbardziej korzystne byłoby połączenie zalet obydwu rozwiązań z jednoczesnym wyeliminowaniem ich wad dla uzyskania kompletnego materiału. W niniejszym artykule wykorzystano dwie metody generowania koryta rzeki, pierwszą wykorzystującą tylko interpolację między przekrojami poprzecznymi, i drugą, autorską, w postaci narzędzia pracującego w środowisku ArcGIS, wykorzystującego zarówno przekroje poprzeczne pomierzone w terenie, jak i NMT.

METODA INTERPOLACJI MIKE 11

Metoda interpolacji z wykorzystaniem pakietu Mike 11 bazuje na dwóch podstawowych założeniach. Naturalny przebieg rzeki i lokalizacja przekrojów względem niego (rysunku 1A) podczas interpolacji są interpretowane przez aplikację w sposób przedstawiony na rysunku 1B [DHI, 2007]. Mike wykorzystuje tylko jedną stałą odległość między przekrojami, wynikającą z kilometrażu rzeki.

Drugie założenie wykorzystuje podział przekrojów poprzecznych na dwie części. Lewa opisana jest znacznikami 1 i 2 (1 - znacznik wału lewego, 2 - znacznik najniższego punktu przekroju), prawa - znacznikami 2 i 3 (3 - znacznik wału prawego). Dla punktów leżących w jednym lub drugim obszarze wyznaczane są odległości, ale w ujęciu procentowym i dopiero wówczas przepro-

wadzona zostaje interpolacja między znanymi przekrojami. Tylko punkt dla znacznika 2 interpolowany jest bezpośrednio wzdłuż rzeki.



Rysunek 1. Przebieg rzeki i lokalizacja przekrojów pomiarowych (poprzeczna linia ciągła) oraz interpolowanych (linia przerywana), A) rzeczywisty przebieg rzeki i układ przekrojów, B) przebieg trasy cieków i lokalizacji przekrojów w interpretacji Mike 11
Figure 1. River route and localization of measured (solid line) and interpolated (dotted line) cross sections, A) real river route and cross sections scheme, B) River route and localization of cross sections in Mike11's interpretation

AUTORSKA METODA INTERPOLACJI

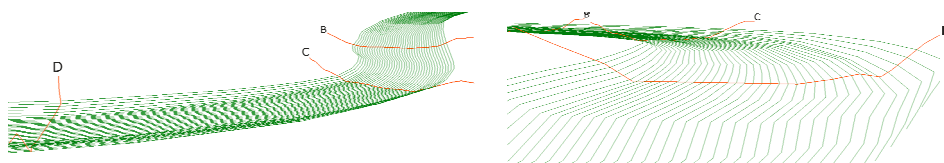
Procedura interpolacji w postaci narzędzia pracującego w środowisku ArcGIS powstała na bazie doświadczeń dr Venkatesha Merwade [Merwade, Maidment, Hodges 2005], Bettiny Scheäppi [Schäppi, Perona, Schneider, Burlando 2010] oraz doświadczeń pracowników Centrum Modelowania Powodziowego (CMP) we Wrocławiu.

Do generowania batymetrii narzędzie wykorzystuje interpolację liniową. Ze względu na ciągły charakter danych batymetrycznych, tworzona jest siatka o zadanej rozdzielczości punktów, których rzędne zostają oszacowane za pomocą liniowej interpolacji pomiędzy znanymi punktami na przekrojach referencyjnych. Dla maksymalizacji dokładności i prawidłowego rozkładu wysokości względem odległości od znanych punktów, utworzona siatka jest opisana we własnym układzie współrzędnych [Merwade, Cook, Coonrod 2008]. Metoda do poprawnego działania wymaga danych z pomierzonych przekrojów mokrych (w formie polilinii MZ z wartościami Z), osi cieków (w formie polilinii), jak również obrysu koryta mokrego (przekłamywany obszar w ALS) oraz w końcowej fazie NMT dla aktualizacji błędnego obszaru o zweryfikowany.

W pierwszej fazie procedury tworzone są lokalizacje przekroji interpolowanych wzdłuż osi cieków, prostopadle do niej, zgodnie z założonym krokiem przestrzennym. Następnie długości przekrojów interpolowanych są ograniczane do linii przecięcia z obrysem koryta mokrego, a w kolejnym kroku generowane są punkty w miejscach podziału przekroju na $n-1$ równych odcinków. Każdemu z punktów przypisywany jest odpowiedni identyfikator przekroju poprzecznego.

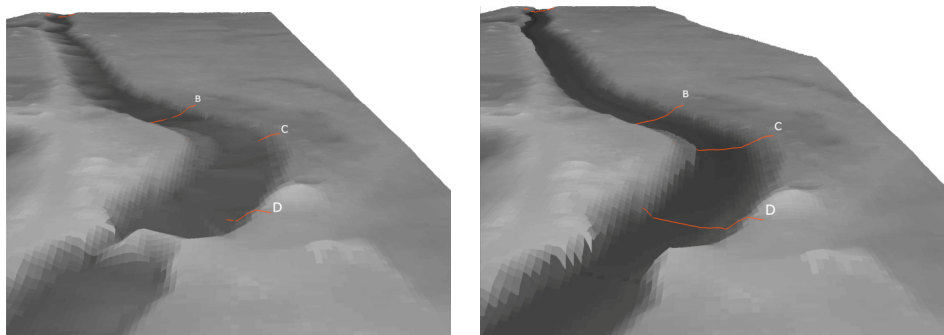
Dla uzyskania rzędnych w interpolowanych przekrojach, program rozkłada liniowo różnicę pomiędzy znanymi rzędnymi powyżej i poniżej interpolowanego punktu w stosunku do odległości od tych przekrojów.

W rezultacie uzyskuje się siatkę punktów interpolowanej batymetrii w formie polilinii (rys. 2).



Rysunek 2. Model wyinterpolowanej batymetrii
Figure 2 Interpolated bathymetry model

Kolejna transformacja otrzymanej batymetrii do TIN-u umożliwia aktualizację pierwotnego NMT i w konsekwencji wykorzystania go bezpośrednio do modelowania 2D lub do generowania pełnych przekrojów dolinowych dla modelowania 1D (rys. 3).



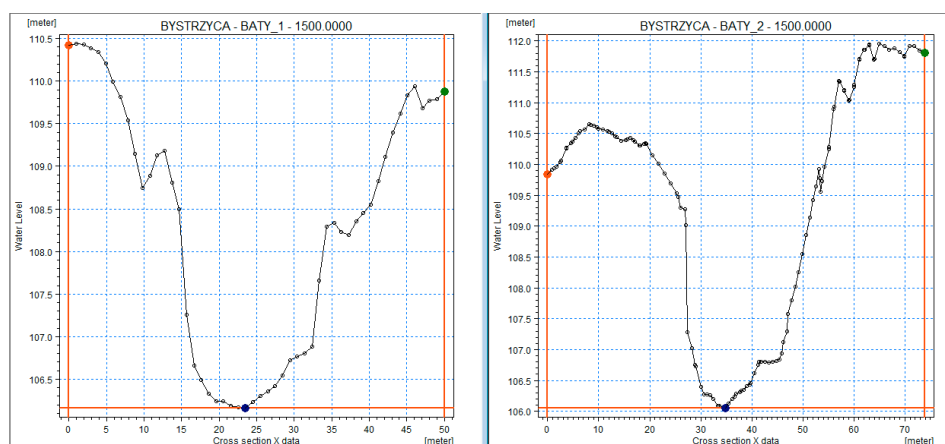
Rysunek 3. a) oryginalny NMT, b) zaktualizowany NMT
Figure 3. a) original DTM, b) updated DTM

PORÓWNANIE METOD

W celu zbadania wpływu przyjętej metody interpolacji koryta rzecznego na wyniki modelowania przeprowadzono obliczenia testowe za pomocą programu Mike11 na przykładzie lewostronnego dopływu Odry - Bystrzycy, na odcinku od zbiornika Mietków do ujścia. Do budowy modelu wykorzystano przekroje geodezyjne wykonane w ramach „Studium ochrony przed powodzią zlewni rzeki

Bystrzycy”, które następnie uzupełniono o przekroje interpolowane w odległości co 100 m za pomocą dwóch metod:

1. z wykorzystaniem autorskiego narzędzia GIS (WARIANT 1),
2. interpolacji dostępnej z poziomu edytora przekrojów poprzecznych Mike11 (WARIANT 2).

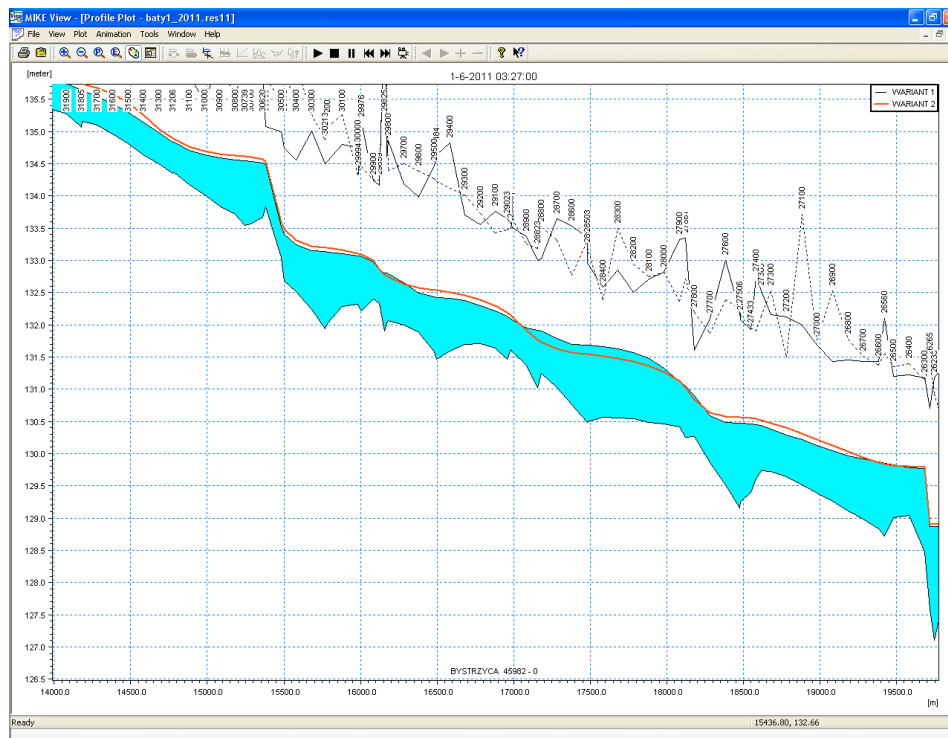


Rysunek 4. Wybrany przekrój poprzeczny rzeki Bystrzycy uzyskany metodą interpolacji a) z wykorzystaniem narzędzi GIS, b) za pomocą edytora przekrojów Mike11
Figure 4. Selected cross section of the Bystrzyca river obtained by: a) interpolation with GIS metod, b) interpolation with Mike11's cross section editor

Dla obydwu wariantów modelu przyjęte zostały jednakowe współczynniki szorstkości w odpowiadających sobie przekrojach poprzecznych, te same warunki początkowe i brzegowe oraz pozostałe dane geometryczne modelu (trasa ciek, lokalizacja i parametry budowli hydrotechnicznych). Jako dane hydrologiczne wykorzystano przepływy i stany wody z okresu 1-22 czerwca 2011 r. dla rzeki Bystrzycy (wod. Mietków i Jarnołów) oraz jej kontrolowanych dopływów na modelowanym odcinku: Strzegomki (wod. Łażany i Bogdaszowice) i Czarnej Wody (wod. Gniechowice). Przepływy w tym okresie kształtowały się na poziomie przepływu średniego z wielolecia 1951-2010 (SSQ), co pozwoliło na przeanalizowanie wpływu metody interpolacji w odniesieniu jedynie do koryta głównego z częściowym wpływem NMT.

Po kalibracji modelu i przeprowadzeniu obliczeń porównano maksymalne rzędne zwierciadła wody w profilu podłużnym oraz objętości fali w przekroju zamykającym model dla analizowanego okresu. Różnice maksymalnych rzędnych zwierciadła wody dla rozpatrywanego przykładu wyniosły średnio 6 cm,

choć lokalnie osiągały nawet 46 cm. Nie miały one jednak większego wpływu na objętość przepływu dla analizowanego okresu – dla przekroju zamykającego model objętość fali obliczona dla wariantu 1 (interpolacja koryta z wykorzystaniem metody GIS) wyniosła 8 047 751 m³, natomiast dla wariantu 2 (interpolacja z poziomu edytora przekrojów Mike 11) 8 042 642 m³, czyli jedynie 5 109 m³ różnicy (około 0,06% objętości fali w badanym przedziale czasowym). W przypadku fal powodziowych, dla których najczęściej wykonywane są obliczenia modelowe, wpływ metody interpolacji koryta rzecznego można zatem uznać za całkowicie nieistotny.



Rysunek 5. Fragment profilu podłużnego rzeki Bystrzycy dla analizowanych wariantów interpolacji koryta rzecznego dla wybranego kroku czasowego
Figure 5. Longitudinal profile of the Bystrzyca river for analyzed methods of river batymetry interpolation in selected time step

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w artykule „autorska” metoda interpolacji koryta umożliwia łatwe łączenie informacji z Numerycznego Modelu Terenu z danymi z pomiarów geodezyjnych. Za jej pomocą możliwe jest uzyskanie ciągłej informacji przestrzennej, gotowej do wykorzystania w modelowaniu 2D oraz w uzupełnianiu i generowaniu przekrojów do modelowania 1D. Opracowana metoda uwzględnia również meandrowanie cieków. Jej wadą są natomiast uproszczenia pojawiające się podczas interpolacji przekroju poprzecznego, wynikające z jego podziału na $n-1$ równych odcinków, co może mieć wpływ na sztuczne zawyżanie rzędnej dna cieków w określonych przypadkach. W metodzie interpolacji dostępnej w Mike 11, rzędna dna stanowi kluczowy element w procesie interpolacji i jest zawsze bezpośrednio wykorzystywana w procedurze. Do wad tej metody należy jednak zaliczyć brak bezpośredniej możliwości wykorzystania NMT przy generowaniu interpolowanych przekrojów.

W wyniku przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że w przypadku koryta właściwego wpływ różnic między metodą „autorską”, a tą wykorzystywaną w Mike 11 w przypadku przepływu korytowego jest pomijalny. Wynika to między innymi z niewielkiego udziału NMT w obszarze przepływu. Rozkład rzędnych dla interpolowanych przekrojów w metodzie „autorskiej” jest zdeterminowany przez obrys podwodnej części koryta właściwego, dlatego informacja powinna być możliwie dokładna i przeprowadzona dla jak najniższych stanów. Z uwagi na uzyskane wyniki, podjęte zostaną kolejne badania uwzględniające interpolację i przepływy w terenach zalewowych.

BIBLIOGRAFIA

- Borkowski A., Gołuch P., Wehr A. *Rejestracja doliny rzeki Widawy z wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol.16, Olsztyn 2006, s.53-62
- DHI *Mike 11: A Modelling System for Rivers and Channels*, vol.1, User Guide, DHI Software 2009, 328 ss.
- Kopacz M. *Koncepcja uproszczonego modelowania relacji 'użytkowanie terenu - zanieczyszczenie wód' w małych zlewniach górskich*. Woda-Środowisko-Obszary wiejskie, tom4, z. 2a, Wydawnictwo IMUZ, Falenty 2004, s. 465-479
- Merwade V., Maidment D., Hodges B. *Geospatial Representation of River Channels*, Journal of Hydrologic Engineering, vol. 10, No. 3, New York 2005, s. 243-251
- Merwade V., Cook A., Coonrod J. *GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping*, Environmental Modelling & Software, Vol. 23, Issues 10-11, Elsevier, New York 2008, s. 1300-1311

Schäppi B., Perona P., Schneider P., Burlando P. *Integrating river cross section measurements with digital terrain models for improved flow modelling applications*, Computers & Geosciences, volume 36, Issue 6, Elsevier, New York 2010, s. 707–716.

Mgr inż. Anna Bogusz
anna.bogusz@imgw.pl
Mgr Tomasz Orczykowski
tomasz.orczykowski@imgw.pl
Dr inż. Maciej Zdralewicz
maciej.zdralewicz@imgw.pl
Centrum Modelowania Powodziowego
IMGW PIB
Oddział we Wrocławiu
ul. Parkowa 30
51-616 Wrocław

