

## SPOSOBY REPREZENTACJI DANYCH GEOPRZESTRZENNYCH W SYSTEMACH MODELOWANIA HYDRODYNAMICZNEGO PRZEPLÝWÓW POWODZIOWYCH

TYMKÓW P.<sup>1</sup>, STODOLAK R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, Polska, e-mail: [przemyslaw.tymkow@up.wroc.pl](mailto:przemyslaw.tymkow@up.wroc.pl)

<sup>2</sup>Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, Polska, e-mail: [radoslaw.stodolak@up.wroc.pl](mailto:radoslaw.stodolak@up.wroc.pl)

**Streszczenie :** Tworzenie map zasięgów powodzi i przewidywanie jej skutków opiera się między innymi na wykorzystaniu modeli hydrodynamicznych. Z drugiej strony rozwój technik pozyskiwania danych geodezyjnych oraz oprogramowania i standardów dla systemów GIS skłania do wniosku, że interoperacyjność oraz geometria 3D stanowią ścieżkę rozwoju tych systemów na najbliższe lata.

Ewolucja systemów GIS w tym kierunku wymusi również dostosowanie specjalistycznego oprogramowania naukowego wykorzystującego dane przestrzenne (jakim są systemy modelowania hydrodynamicznego) jak i sposobu realizacji badań do nowych standardów gromadzenia danych. W pracy zaprezentowano przegląd technik oraz sposobów pozyskiwania i przygotowania danych geoprzestrzennych dla modelowania hydrodynamicznego przepływów powodziowych.

Przedstawiono specyfikę przygotowania opisu geometrii koryta i terenów zalewowych oraz informacji o formach pokrycia terenu, które mają wpływ na opory przepływu w zależności od przyjętego modelu ruchu cieczy. Szczególną uwagę poświęcono wstępnym pracom autorów nad rozwojem metodyki generowania przestrzennych, numerycznych modeli dolin rzecznych w postaci bazy danych GIS 3D uwzględniających złożoność systemów modelowania powodzi.

Proponowana koncepcja modelu przestrzennego opiera się na wiernej, trójwymiarowej prezentacji rzeczywistości obejmującej geometrię obiektów naturalnych i antropogenicznych.

**Słowa kluczowe:** modelowanie hydrodynamiczne, GIS, numeryczne modele terenu, 3D

**Abstract :** In mapping of flood inundation extents and prediction of flood effects digital hydrodynamic models are commonly used. On the other hand observation of the development of spatial data collection techniques, software and standards for GIS leads to the conclusion that interoperability and 3D geometry underline evolutionary path of these systems in the coming years.

The evolution of GIS in this direction will force the adaptation of specialized scientific software using spatial data (e.g. systems of hydrodynamic modeling) and research methods to create new standards for data collection. The paper presents an overview of techniques and methods for obtaining and preparing geospatial data for hydrodynamic modeling of flood flows.

The specificity of the preparation of riverbed and floodplains geometry description and information about the types of land cover, which affect the flow resistance depending on the model of fluid motion, was also shown. In particular, authors preliminary work on developing a methodology to generate the spatial numerical models of the river valleys in the form of GIS 3D database taking into account the complexity of its use in flood flows modeling is presented.

The proposed model is a faithful, three-dimensional representation of reality, taking under consideration the geometry of natural and anthropogenic objects.

**Keywords:** hydrodynamic modelling, GIS, DTM, 3D

### Wstęp

Pojęcie powodzi jest rozumiane jako zespół złożonych zjawisk i warunków, które towarzyszą wezbraniom wód śródlądowych lub przybrzeżnych spowodowanym opadami, topnieniem śniegu i lodu lub procesami eolicznymi powodującymi zagrożenie bezpieczeństwa, a także straty gospodarcze, społeczne i moralne [1]. Tworzenie map zasięgów powodzi i przewidywanie jej skutków opiera się między innymi na wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania do modelowania hydrodynamicznego przepływów, takich jak np. HEC-RAS, SMS - Surface-water

Modeling System, MIKE-11 itp. W większości przypadków oprogramowanie to umożliwia korzystanie z systemów GIS jako bazy danych o ukształtowaniu powierzchni koryta i doliny oraz o oporach przepływu. Z drugiej strony rozwój technik pozyskiwania danych geodezyjnych oraz oprogramowania i standardów dla systemów GIS skłania do wniosku, że interoperacyjność oraz geometria 3D stanowią ścieżkę rozwoju tych systemów na najbliższe lata. Ewolucja systemów GIS w tym kierunku wymusi również dostosowanie samych systemów modelowania hydrodynamicznego jak i sposobów implementacji modeli hydrodynamicznych do nowych standardów gromadzenia danych.

## **1. Sposoby reprezentacji danych geoprzestrzennych w modelach hydrodynamicznych**

W odniesieniu do modelowania hydrodynamicznego przepływów powodziowych zdefiniować można trzy rodzaje danych geoprzestrzennych: dane o ukształtowaniu terenu na obszarze modelowania włączając w to linie nieciągłości terenu np. wały przeciwpowodziowe, dane o obiektach przestrzennych tam się znajdujących oraz dane o szorstkości powierzchniowej, która związana jest bezpośrednio z oporami przepływu.

### **1.1. Dane geometryczne**

Dane geometryczne dla modeli hydrodynamicznych, a więc informacje o ukształtowaniu powierzchni koryta i międzywała, pozyskuje się w drodze geodezyjnych pomiarów bezpośrednich (tachimetria, niwelacja techniczna, pomiar GNSS RTK), technikami fotogrametrycznymi lub teledetekcyjnymi. W zależności od założonego sposobu reprezentacji przyjętego dla modelu przepływu cieczy, informacje geometryczne przechowuje się w formie przekrojów poprzecznych lub numerycznego modelu terenu (NMT) albo odpowiednio przygotowanego numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT)[2]. Obecnie najbardziej rozpowszechnioną z racji dokładności, relatywnie niskich kosztów i szybkości metodą akwizycji danych jest technika lotniczego skaningu laserowego [3]. Pozwala ona na pomiar rzędnej terenu także dla obszarów porośniętych roślinnością, przez co w odniesieniu do zalesionych dolin rzecznych znacznie przewyższa użytecznością opracowania fotogrametryczne, w których wykorzystuje się efekt stereoskopowy uzyskany dzięki zdjęciom lotniczym wykonanym z pokryciem. W przypadku opracowań wielkopowierzchniowych stosunkowo nową techniką opracowania NMT jest InSAR (ang. Interferometric Synthetic Aperture Radar). Polega ona na obrazowaniu powierzchni terenu w zakresie mikrofalowym z pułapu lotniczego lub satelitarnego i wykorzystuje dwa lub więcej radarów w celu wygenerowania obrazów z wykorzystaniem różnic w fazie fali wychodzącej i powracającej. Interferometria dzięki częściowemu przenikaniu mikrofal przez szatę roślinną może zapewnić produkt podobny do rezultatu uzyskanego z pomiaru lotniczym skanerem laserowym, z tym że pomiar InSAR charakteryzuje się mniejszą dokładnością jeżeli chodzi o dane wysokościowe.

### **1.2. Dane o oporach przepływu**

Prawidłowe wyznaczenie charakterystyk hydraulicznych wielkich wód w dolinach rzek wymaga oszacowania parametrów charakteryzujących opory przepływu. Opory te związane są z szorstkością powierzchniową terenu, która z kolei jest funkcją jego użytkowania. W literaturze zdefiniowany jest szereg parametrów charakteryzujących szorstkość. Do najczęściej stosowanych w symulacjach należą: współczynnik szorstkości Manninga  $n$  [ $m^{-1/3}/s$ ] oraz bezwymiarowy współczynnik oporów liniowych  $\lambda$ . Parametry szorstkości większości materiałów mogących stanowić budulec dna i brzegów koryt (zwłaszcza nierozmywanych) zostały dość precyzyjnie wyznaczone i stabelaryzowane. Mając do dyspozycji obrazy satelitarne lub lotnicze a także dane skaningu laserowego dla obszaru doliny rzeki możliwe jest automatyczne rozpoznanie klas pokrycia terenu charakteryzujących się względną homogenicznością pod kątem szorstkości powierzchniowej i przypisanie im odpowiedniego współczynnika oporu. Wykorzystuje się do tego celu algorytmy klasyfikacji nadzorowanej np. sztuczne sieci neuronowe [4]. Produktem takiego rozpoznania jest

mapa szorstkości powierzchniowej. Przykład automatycznej klasyfikacji obszarów pod kątem oporów przepływu za pomocą danych skaningu laserowego i zdjęć lotniczych prezentuje rysunek 1b.

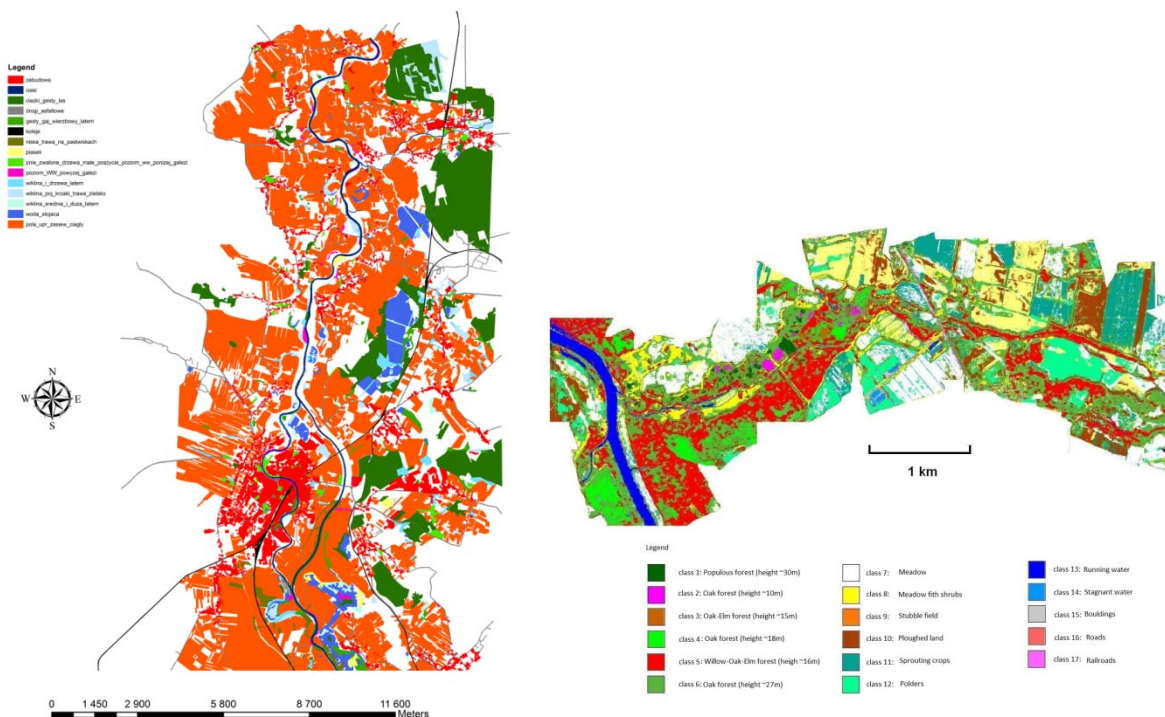


Fig. 1. Przykłady map szorstkości powierzchniowej: a) opracowana na podstawie ręcznej digitalizacji ortofotomap (fragment doliny Odry w okolicy Raciborza)[5], b) opracowana na podstawie automatycznej klasyfikacji danych obrazowych i lotniczego skaningu laserowego (fragment doliny Widawy w okolicy Wrocławia)[4].

Nieco trudniejsze zadanie stanowi oszacowanie wpływu roślinności na przepustowość koryt i dolin. Wynika to ze względu na różnorodność form roślinnych oraz dynamiczny charakter zmian cech opływanych roślin. Występowanie roślinności na terenach zalewowych koryt wzmaga wymianę mas wody pomiędzy zalewem i korytem głównym. Dotyczy to zwłaszcza roślinności wyższej niż głębokość przepływu i w niewielkim stopniu ulegającej aktualizacjom pod wpływem naporu hydrodynamicznego wody. Ta interakcja hamuje przepływ w korycie, co ma istotne znaczenie dla wyznaczania przepływu wód wezbraniowych w dolinie rzeki oraz określenie stref zagrożenia powodziowego. Aby uwzględnić opory związane z roślinnością oraz innymi obiektami pokrycia terenu, można posłużyć się współczynnikiem zastępczym dla takiego obszaru.

Obecna technologia obliczeniowa oraz rozwój geometrii 3D w systemach GIS umożliwia podjęcie próby zastosowania modelu bryłowego obiektów przestrzennych i modelowanie przepływu w oparciu o bazę danych GIS 3D. Wymagać to będzie opracowania metodyki generowania numerycznego przestrzennego modelu obszaru doliny rzeki w postaci bazy danych GIS 3D uwzględniającego specyfikę jego zastosowania w procesie modelowania przepływów powodziowych. Szczególne znaczenie ma opracowanie efektywnych algorytmów modelowania poszczególnych elementów takiej wierniej trójwymiarowej reprezentacji fragmentu rzeczywistości uwzględniającej geometrię brył poszczególnych roślin oraz obiektów antropogenicznych, uzupełnionej o część opisową zawierającą charakterystykę poszczególnych obiektów niezbędna do określenia oporów ich opływu oraz ewentualnych właściwości fizycznych (np. sprężystość). Drugim wciąż nierozwiązanym aspektem badawczym jest problematyka integracji elementów bazy danych geoprzestrzennych 3D z modelami hydrodynamicznymi.

Sposoby reprezentacji danych o szorstkości powierzchniowej są ściśle powiązane ze sposobami reprezentacji danych geometrycznych oraz przyjętym modelem przepływu (modele 1-D, 2-D, 3-D).

### 1.3. Modele 1-D

Systemy jednowymiarowe, a więc bazujące na założeniu, że składowa predkość jest zgodna z kierunkiem osi rzeki jest dominująca, wykorzystują opis geometrii obszaru przepływu w postaci przekrojów prostopadłych do kierunku przepływu. Charakterystyka parametrów ruchu jest więc determinowana przez współrzędną podłużną. Przykładem systemu 1D jest pakiet HEC-RAS - model opracowany przez US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center. Jest on powszechnie stosowany w świecie w zakresie jednowymiarowego opisu stref zagrożenia powodziowego. Bazuje on na rozwiązaniu równań energii i ilości ruchu, przy założeniu dla przepływu ustalonego, iż jest on wolnozmienny, czyli w każdym przekroju rozkład ciśnienia jest hydrostatyczny oraz przepływ jest jednowymiarowy tzn. pomijane są składowe wektora prędkości odmienne od kierunku przepływu. Nachlik i inni [6] wskazują na HEC-RAS, jako na aplikację posiadającą wiele zalet m.in. obwarowanie szeregiem restrykcji w zakresie hydraulicznej interpretacji ruchu w ujęciu numerycznym, które sprawiają, iż jest to model pewny. Ważnym aspektem jego przydatności i rozpowszechnienia jest również fakt łatwości dostępu – jest to produkt typu „public domain”.

Często wykorzystywanym sposobem pozyskania danych w formie przekrojów poprzecznych jest ich generowanie na podstawie numerycznego modelu terenu zbudowanego w oparciu o dane z digitalizacji map, pomiary fotogrametryczne, lub lotniczy skaning laserowy. Generowanie przekrojów poprzecznych na podstawie NMT wiąże się z niestety z problemami dotyczącymi wyboru miejsc oraz interwału cięcia numerycznego modelu terenu [7].

Istnieją dwa najbardziej rozpowszechnione podejścia w opisie szorstkości w modelach jednowymiarowych:

- przyjęcie zastępczego współczynnika dla koryta właściwego i obu terenów zalewowych indywidualnie, bez podziału na mniejsze strefy,
- przyjęcie współczynnika zastępczego jedynie dla koryta właściwego, a przekrój przez tereny zalewowe dzielony jest na części, traktowane jako przekroje zwarte, homogeniczne pod względem szorstkości.

W obu przypadkach zastosować można dwie strategie próbkowania na podstawie mapy szorstkości:

- a) próbkowanie jedynie wzdłuż przekroju bez uwzględniania informacji między przekrojami.
- b) próbkowanie na całym obszarze między sąsiednimi przekrojami i przeniesienie procentowego udziału każdej powierzchni cząstkowej  $F_i$  w powierzchni całkowitej na przekrój według formuły:

$$L_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \cdot B \quad (1)$$

gdzie:

$L_i$  -  $i$ -ty odcinek przekroju,

$B$  - szorstkość terenu zalewowego.

Stosując podejście 1 oblicza się współczynnik zastępczy dla lewego i prawego terenu zalewowego. W podejściu 2 zakłada się rozmieszczenie odcinków wzdłuż przekroju w taki sposób, aby odcinki o dużej szorstkości znajdowały się przy zewnętrznych krawędziach doliny, a o małej przy korycie.

W przypadku braku mapy szorstkości, na podstawie której można automatycznie uzyskać informacje o zmianach współczynników oporu wzdłuż przekroju można posłużyć się mapami topograficznymi jako źródłem danych o użytkowaniu terenu. Tutaj także powstaje pytanie, jak skala podkładu mapowego (oraz jego szczegółowość) wpływa na jakość modelowania



hydrodynamicznego. W rozdziale 2 artykułu przedstawiono analizę wpływu tych czynników na wybranych fragmentach dolin rzecznych.

### 1.2. Modele 2-D i 3-D

Systemy 2-D znajdują zastosowanie w symulacji przepływów w korytach, gdzie składowe pionowe wektora predkości oraz przyspieszenia są znacznie mniejsze od składowych w płaszczyźnie poziomej. Można rozpatrywać model dwuwymiarowy w pionie (2DV), kiedy uśrednienie wielkości hydraulicznych następuje w kierunku poprzecznym, a wszystkie parametry zależą od współrzędnej podłużnej i pionowej oraz model dwuwymiarowy w planie (2DH), w którym parametry zależą od współrzędnej podłużnej i poprzecznej. Podstawę tego typu modeli stanowią równania ruchu wody scałkowane na głębokości. Przykładem takiego modelu jest RMA2 z pakietu SMS. Modele 3-D umożliwiają pełny opis przepływu z uwzględnieniem prądów wtórnych. Znalazły szerokie zastosowanie do symulacji przepływu turbulентnego strumienia ciepła lub masy [8]. Ze względu na znaczną złożoność obliczeń powstają ograniczenia w stosowaniu modeli trójwymiarowych wynikające z ograniczonej mocy obliczeniowej komputerów. Geometria doliny i koryta reprezentowana jest w tych modelach za pomocą NMT a współczynniki szorstkości podawane są obszarowo odnosząc je do poszczególnych oczek siatki NMT.

## 2. Wpływ skali i szczegółowości mapy topograficznej stanowiącej źródło informacji o zagospodarowaniu terenu na wielkości parametrów modelu hydrodynamicznego.

W dalszej części pracy wykonano analizy, których celem było ukazanie wpływu skali i szczegółowości podkładu kartograficznego na rozbieżności w wynikach symulacji przepływu wody w korytach otwartych w oparciu o model jednowymiarowy wykorzystany w aplikacji Hec-Ras. Analizy te przeprowadzono na trzech przekrojach doliny górnej Odry w okolicach Raciborza (km 55+530, 57+680, 60+000). Na przekrojach celowo nie uwzględniono ograniczenia zasięgu zalewu przez istnienie prawostronnego obwałowania, aby ukazać wpływ zróżnicowania współczynników szorstkości na różnice w obliczonych parametrach hydraulicznych.

W symulacji założono, iż przepływ jest ustalony, czyli parametry ruchu są stałe w funkcji czasu. To uproszczenie wynika z często przyjmowanego w praktyce założenia, iż zmiany przepływu w czasie są tak powolne, że ruch można potraktować jako ustalony. Do potrzeb symulacji założono trzy warianty różniące się ilością współczynników szorstkości w rozpatrywanym przekroju, co jest bezpośrednim wynikiem stopnia generalizacji podkładu kartograficznego. W pierwszej próbie wykorzystano mapę o skali 1:25000 i ortofotomapę o skali 1:26000 (Fig. 2)

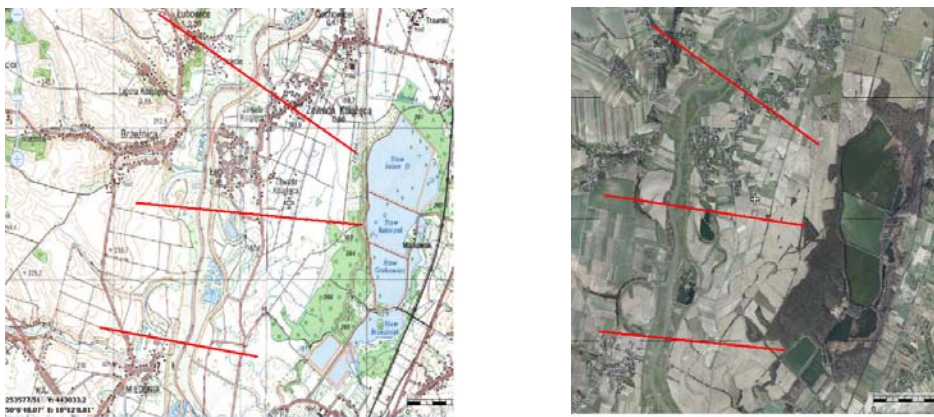


Fig. 2. Lokalizacja badanych przekrojów poprzecznych na podkładzie mapowym w skali 1:25000 oraz ortofotomapie w skali 1:26000

W kolejnej symulacji wykorzystano mapę topograficzną w skali 1:10000 i ortofotomapę o skali 1:5000. Na rysunku Fig. przedstawiono przykład interpretacji kartograficznej dla przekroju w km 55+530.

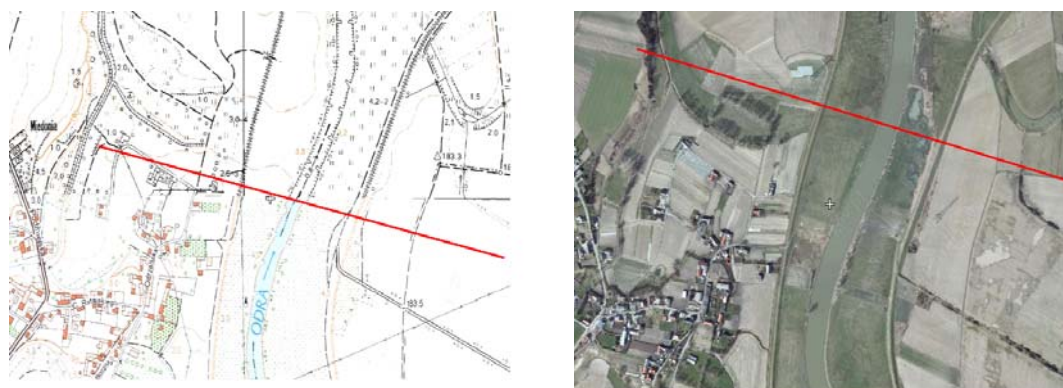


Fig. 3. Lokalizacja badanych przekrojów poprzecznych na podkładzie mapowym w skali 1:10000 oraz ortofotomapie w skali 1:5000

W trzecim wariantcie wykorzystano mapę pokrycia terenu wg 16 wydzielonych klas szorstkości, którym przyporządkowano odpowiednie wartości współczynników szorstkości Manninga, na podstawie tablic Ven Te Chow [9, 10]. Do graficznego zobrazowania rozmieszczenia klas pokrycia terenu na obszarze badawczym wykorzystano program ArcMap należący do pakietu ArcGIS umożliwiający opracowanie oraz wizualizację danych w systemie informacji geograficznej. Efekt tych działań stanowi mapa pokrycia terenu na obszarze Górnej Odry (Fig. a), gdzie za pomocą gamy kolorów wyróżniono odpowiednie klasy pokrycia terenu o zadanych współczynnikach szorstkości. Wektoryzacja klas pokrycia terenu pozwoliła na transformację liniowego współczynnika szorstkości i przypisanie go na długości odcinka w przekroju poprzecznym koryta głównego oraz doliny.

Wraz ze wzrostem stopnia generalizacji podkładu kartograficznego uzyskano rozkłady współczynników przekroju jak w Tab 1.

Tab 1. Podstawowe charakterystyki hydrauliczne w przekrojach

	kilometr położenia przekroju								
	55+530			57+680			60+000		
	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III
ilość próbkowań wsp. n	5	9	9	6	10	18	7	11	20
wysokość linii energii [m n.p.m.]	183.37	183.37	183.37	183.77	183.77	183.71	183.90	183.87	183.82
rzędna zw. wody [m n.p.m.]	183.18	183.18	183.18	183.77	183.76	183.71	183.89	183.86	183.81
szerokość zw. wody [m]	1730.10	1726.47	1726.47	3025.82	3025.71	3024.13	1958.89	1958.56	1954.05
$v_{\text{sr}}$ [m/s]	1.36	1.36	1.36	0.28	0.28	0.29	0.32	0.32	0.33

Poniżej (Tab 2) zaprezentowano rozkład poszczególnych parametrów hydraulicznych z podziałem na koryto główne, prawo i lewostronny obszar zalewowy dla trzech analizowanych przekrojów.

Tab 2. Podstawowe charakterystyki hydrauliczne w przekrojach rzeki

	kilometr położenia przekroju								
	<b>55+530</b>								
	lewy brzeg			koryto główne			prawy brzeg		
	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III
ilość próbkowań wsp. n	1	1	1	1	1	1	3	7	7
średnia ważona wartość wsp. n	0.04	0.04	0.04	0.055	0.055	0.055	0.041	0.041	0.041
powierzchnia czynna [m <sup>2</sup> ]	174.66	174.22	174.22	391.31	391.18	391.18	756.47	753.79	753.79
przepływ [m <sup>3</sup> /s]	174.9	174.32	174.32	982.41	982.07	982.07	642.69	643.61	643.61
v <sub>sr</sub> [m/s]	1.00	1.00	1.00	2.51	2.51	2.51	0.85	0.85	0.85
szer. zw. wody [m]	232.47	232.22	232.22	70.02	70.02	70.02	1427.6	1424.23	1424.23
gł. hydrauliczna [m]	0.75	0.75	0.75	5.59	5.59	5.59	0.53	0.53	0.53
obwód zwilżony [m]	233.8	233.54	233.54	72.15	72.15	72.15	1431.41	1428.04	1428.04
	<b>57+680</b>								
	lewy brzeg			koryto główne			prawy brzeg		
	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III
	ilość próbkowań wsp. n	3	4	7	1	1	1	2	5
średnia ważona wartość wsp. n	0.031	0.031	0.032	0.043	0.043	0.043	0.049	0.049	0.042
powierzchnia czynna [m <sup>2</sup> ]	615.44	612.66	594.03	530.69	529.97	525.11	5242.00	5220.96	5079.06
przepływ [m <sup>3</sup> /s]	222.66	213.66	186.12	297.6	294.17	264.53	1279.74	1292.18	1349.35
v <sub>sr</sub> [m/s]	0.36	0.35	0.31	0.56	0.56	0.50	0.24	0.25	0.27
szer. zw. wody [m]	342.62	342.56	342.13	89.37	89.37	89.37	2593.82	2593.78	2592.63
gł. hydrauliczna [m]	1.80	1.79	1.74	5.94	5.93	5.88	2.02	2.01	1.96
obwód zwilżony [m]	342.9	342.84	342.4	91.68	91.68	91.68	2606.72	2606.67	2605.82
	<b>60+000</b>								
	lewy brzeg			koryto główne			prawy brzeg		
	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III	wariant I	wariant II	wariant III
	ilość próbkowań wsp. n	2	3	9	1	1	1	4	7
średnia ważona wartość wsp. n	0.04	0.033	0.045	0.091	0.091	0.091	0.059	0.043	0.044
powierzchnia czynna [m <sup>2</sup> ]	2398.28	2369.46	2329.48	522.94	520.71	517.62	2728.62	2694.7	2642.41
przepływ [m <sup>3</sup> /s]	924.96	892.39	763.28	165.97	133.71	157.04	709.08	773.9	879.68
v <sub>sr</sub> [m/s]	0.39	0.38	0.33	0.32	0.26	0.30	0.26	0.29	0.33
szer. zw. wody [m]	869.1	869.03	868.94	67.26	67.26	67.26	1022.53	1022.27	1017.85
gł. hydrauliczna [m]	2.76	2.73	2.68	7.77	7.74	7.70	2.67	2.64	2.60
obwód zwilżony [m]	870.94	870.87	870.76	74.36	74.36	74.36	1027.12	1026.84	1022.64

### 3. Dyskusja i wnioski

W zależności od wybranego sposobu reprezentacji danych geoprzestrzennych w modelach hydrodynamicznych napotkać można różnego typu problemy generalizacyjne i optymalizacyjne. Dostępność szczegółowych danych o ukształtowaniu terenu (NMT) oraz jego pokryciu i zagospodarowaniu (bazy GIS) umożliwia ich zastosowanie zarówno w modelach dwu i trójwymiarowych ale również po odpowiedniej transformacji w modelach jednowymiarowych. Ponadto opracowywana obecnie metodyka pozyskania i przetwarzania danych geoprzestrzennych dla dolin rzecznych w oparciu o wdrażane i opracowywane standardy w dziedzinie infrastruktury

danych przestrzennych pozwoli w przyszłości na ograniczenie zbędnych nakładów finansowych i technologicznych na pozyskiwanie danych dla potrzeb modelowania hydrodynamicznego. Podjęta w pracy próba oceny wpływu szczegółowości kartograficznych źródeł danych przestrzennych na jakość przeniesienia informacji o współczynnikach szorstkości powierzchniowej do modelu i wpływu tej transformacji danych na wyniki modelowania jednowymiarowego pozwala na sformułowanie następujących wniosków szczegółowych:

- na podstawie trzech analizowanych przekrojów można zauważyć, iż wraz ze wzrostem ilości współczynników szorstkości pobranych do modelu maleje powierzchnia czynna przekroju oraz szerokość zwierciadła wody,
- równocześnie zanotowano nieznaczny wzrost prędkości średniej masy wody przemieszczającej się w całym przekroju;
- zmiana rzędnej zwierciadła wody wykazuje tendencję malejącą wraz ze wzrostem ilości próbkowań współczynnika „n”, co bezpośrednio przekłada się na ograniczenie zasięgu zalewu,
- podobne tendencje zauważyć można w przypadku rozdziału przepływu całkowitego na koryto główne i terasy zalewowe, gdzie zasadniczo na brzegu wykazującym większe zróżnicowanie pokrycia terenu rośnie także prędkość średnia, którą można powiązać ze średnią ważoną wartością współczynnika szorstkości,
- stopień generalizacji podkładu kartograficznego nie przekłada się w znaczącym stopniu na różnicę parametrów hydraulicznych uzyskanych w toku symulacji.

## 1. BIBLIOGRAFIA

- [1] Prawo wodne. (Dz. U. Nr 115, poz. 1229)
- [2] Mandlbürger, G., Hauer, C., Höfle, B., Habersack, H. and Pfeifer, N., Optimisation of lidar derived terrain models for river flow modelling. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 5(6), 2008, pp. 3605-3638
- [3] Gołuch P., Borkowski A., Józków G., Tymków P., Mokwa M., Application of Digital Terrain Model generated from Airborne Laser Scanning data in Hydrodynamic Modelling, *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXI No. 3, Wrocław 2009, pp. 61-72
- [4] Tymków P. Application of photogrammetric and remote sensing methods for identification of roughness coefficients of high water flow in the river valleys Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2009, p. 91
- [5] Stodolak R., Gospodarka wodna projektowanego zbiornika Racibórz w aspekcie oddziaływania na środowisko przyrodnicze w dolinie Górnej Odry, praca doktorska – maszynopis, Wrocław 2010
- [6] Nachlik E., Kostecki S., Gądek W., Stochmal R., Strefy zagrożenia powodziowego, Biuro Koordynacji Projektu Banku Światowego, Wrocław 2001.
- [7] Merwade, V., Cook, A. and Coonrod, J. (2008): GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping, *Environmental Modelling & Software*, 23(10-11): pp. 1300-1311
- [8] Rastogi A.K., Rodi W., Calculation of general three-dimensional turbulent boundary layers, *AIAA-J*, No.16, 1978, 151-159
- [9] Wołoszyn J., Czamara W., Eliasiewicz R., Krężel J., Regulacja rzek i potoków, Wyd. AR we Wrocławiu, Wrocław 1994.
- [10] Arcement G., Schneider V., Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, Reston 1989, s.23-39