

## Metoda modelowania zasięgu wód wezbraniowych na równinie zalewowej na przykładzie doliny Parsęty

Joanna Gudowicz\*

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Instytut Paleogeografii i Geoekologii, ul. Dzięgielowa 27, 61-680 Poznań

### Wprowadzenie

W analizie zasięgu fali wezbraniowej istotne jest dokładne odzwierciedlenie ukształtowania dna doliny rzecznej. Systemy Informacji Geograficznej pozwalają na wygenerowanie cyfrowego modelu terenu (ang. *Digital Terrain Model, DTM*) równiny zalewowej z dużą dokładnością. Analiza polegająca na połączeniu danych z cyfrowego modelu rzeźby dolinnej z modelem hydraulicznym spływu wód wezbraniowych w korycie rzecznej i na równinie zalewowej daje możliwość symulacji zasięgu przestrzennego wód wezbraniowych. Należy jednak zauważyć, że w modelach symulacyjnych opartych na cyfrowym modelu terenu nawet mały błąd przy specyfikacji wysokości terenu może mieć duży wpływ na modelowany zasięg rozprzestrzenienia tych wód (Bates i in. 1997, Hunter i in. 2007, Wilson, Atkinson 2005). W tym względzie ważny jest wybór struktury danych modelu. Hunter i in. (2007) zwracają uwagę, że ukształtowanie powierzchni równiny zalewowej może być efektywniej reprezentowane jako nieregularna sieć trójkątów (ang. *Triangulated Irregular Network, TIN*), w porównaniu do rastrowego modelu danych o regularnej siatce kwadratów. Celem pracy jest wyznaczenie obszarów zalewowych w oparciu o cyfrowy model rzeźby w formie TIN zintegrowany w środowisku GIS z modelem matematycznym propagacji fali wezbraniowej. W pracy wykorzystano model Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS 3.1.1) opracowany przez US Army Corps of Engineers (Brunner 2002).

### Obszar badań

Badania przeprowadzono w obszarze dorzecza Parsęty. Parsęta reprezentuje typ meandrującej rzeki nizinnej średniej wielkości o długości 131,7 km, krętości 1,55, spadku 0,00105, przy czym po pierwszych 12,5 km spadek dla pozostałego biegu rzeki zmienia się do 0,00074 (Zwoliński 1989). Reżim rzeczny Parsęty Dynowska (1971) określiła jako wyrównany, charakteryzujący się zasilaniem gruntowo-deszczowo-śnieżnym z występowaniem wezbrań w okresie wiosennym i możliwością sporadycznych wezbrań w miesiącach letnich. Choiński (1988) zwraca uwagę na dużą bezwładność hydrologiczną rzek Przymorza, w tym również Parsęty.

Do badań szczegółowych wybrano cztery odcinki w obrębie doliny Parsęty reprezentujące górny, środkowy i dolny bieg rzeki. Wybrane odcinki badawcze zlokalizowane są w okolicach miejscowości Storkowo, Krosino, Dębczyno oraz Bardy. Powierzchnie każdego z analizowanych obszarów wynoszą około 4,5 km<sup>2</sup>. Odcinek doliny w okolicach Storkowa (Parsęta 116–120 km) charakteryzuje górny bieg rzeki. Położony jest na powierzchni akumulacji fluwioglacjalnej, przylegającej do ciągu moren czołowych (Karczewski 1989). Zbocza doliny są wysokie i dobrze wykształcone. Szerokości dna doliny dochodzą do kilkudziesięciu metrów. Odcinek w okolicach Krosina (Parsęta 98–102 km) zlokalizowany jest w końcowej strefie przejściowej między biegiem górnym a środkowym. Wyraźne dolne załomy krawędzi dolinnych wyznaczają zasięg równiny zalewowej, której szerokość dochodzi do 200 m. W okolicach Dębczyna (Parsęta 62–66 km) rzeka rozcina po-

\* e-mail: gudowicz@amu.edu.pl

wierzchnię wysoczyzny morenowej. Brak jest wyraźnej wykształconej doliny. Odcinek badawczy w Bardach (Parsęta 24–28 km), charakteryzujący dolny bieg rzeki, wykorzystuje fragment pradoliny pomorskiej. Zbocza doliny są dobrze wykształcone. Szerokość dna dochodzi do 500 m.

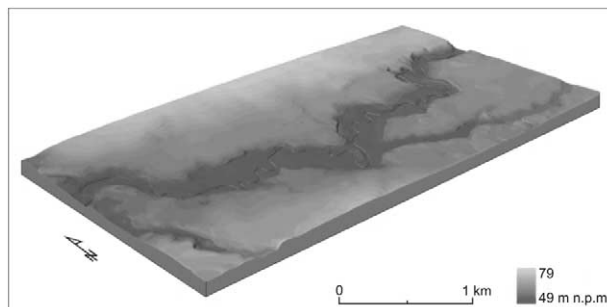
## Źródła danych

Dane źródłowe do wykonania cyfrowych modeli terenu stanowiły mapy topograficzne w skali 1:10 000 w układzie współrzędnych P UWG 1965, strefa trzecia. W pracy wykorzystano także bazę danych użytkowania ziemi CORINE Land cover 2000. Na etapie modelowania hydraulicznego posłużono się danymi IMGW dotyczącymi codziennych przepływów wody w okresie od 1 marca 1979 r. do 30 kwietnia 1979 r. na czterech profilach wodowskazowych: Stary Chwalim, Tychówko, Białogard oraz Bardy. W okresie tym wystąpiło wezbranie roztopowe określone przez Ostrowskiego (2000) jako największe w pięćdziesięciolecie 1945–1995. Wezbranie to ogarnęło całą północną część kraju. Jego przyczyną było gwałtowne stopnienie wielkich mas śniegu zgromadzonych w czasie „zimy stulecia” 1978/1979 (Ostrowski 2000), a jego efekty morfologiczne i sedimentacyjne były widoczne na prawie całej długości doliny Parsęty (Zwołński 1985).

## Analizy geoinformacyjne

Pierwszym etapem procesu wyznaczenia zasięgu fali wezbraniowej było przygotowanie danych charakteryzujących ukształtowanie powierzchni doliny rzecznej. Etap ten zrealizowany został przy wykorzystaniu systemu geoinformacyjnego ArcGIS 9.1. Arkusze map topograficznych poddane zostały kalibracji do układu współrzędnych P UWG 1965 metodą transformacji afinicznej. Następnie ich współrzędne zostały przeliczone do układu P UWG 1992/19. Wektoryzacji poddane zostały wszystkie poziomicie, skarpy i linie szkieletowe. Wprowadzenie linii szkieletowych miało na celu uniknięcie zniekształceń tych form w wyniku procesu interpolacji. Bez wprowadzenia linii szkieletowych istnieje duże prawdopodobieństwo powstania w modelu spłaszczeń form terenowych, objawiające się kaskadowym kształtem wąskich dolin, niaturalnym spłaszczeniem ich dna oraz ścięciem części wierzchołkowych (Carrara i in. 1997).

Na podstawie danych pozyskanych z map topograficznych wygenerowane zostały techniką triangulacji cyfrowe modele terenu dla czterech obszarów badawczych. Na rycinie 1 przedstawiono cyfrowy model doliny dla odcinka badawczego Krosino.



Ryc. 1. Ukształtowanie powierzchni doliny rzecznej dla odcinka Krosino

Zastosowana została metoda tworzenia nieregularnego modelu, zwana metodą Dealunaya, polegająca na wyznaczeniu sieci trójkątów, takich, by okręgi opisane na tych trójkątach nie zawierały wierzchołka innego trójkąta (Weibel, Heller 1991). W ten sposób uzyskany został cyfrowy model terenu w postaci nieregularnej sieci trójkątów TIN. Model TIN jest efektywną strukturą danych dla potrzeb analizy ukształtowania terenu, gdyż zawiera oryginalne punkty pomiarowe, a zmienna wielkość i gęstość trójkątów skutecznie odzwierciedla obszary charakteryzujące się znacznym zróżnicowaniem i rytmem rzeźby. Model TIN winien zatem dobrze reprezentować morfologię doliny rzecznej. Taka forma opisu rzeźby została zastosowana w modelowaniu stref zagrożenia powodziowego przez Tate'a i in. (1999), Nachlik i in. (2000), Kosteckiego, Twaroga (2003), a także Sinnakaudana i in. (2003). Zgodność cyfrowego modelu terenu z powierzchnią rzeczywistą można wyrazić za pomocą średniego błęd modelu (Gaździcki 1990). Ocenia się, że średni błąd określenia wysokości w DTM skonstruowanym z materiałów kartograficznych o cięciu poziomicy 5 m wynosi 1,67 m przy nachyleniu terenu poniżej 2% i 3,33 m dla nachylenia powyżej 2% (Przywara 2000). W przypadku budowy modelu na podstawie map topograficznych w skali 1:10 000 i wprowadzenia wszystkich poziomic co 1,25 m oraz linii szkieletowych średni błąd modelu powinien być niższy niż podane wyżej wartości.

## Symulacje morfologiczno-hydrodynamiczne

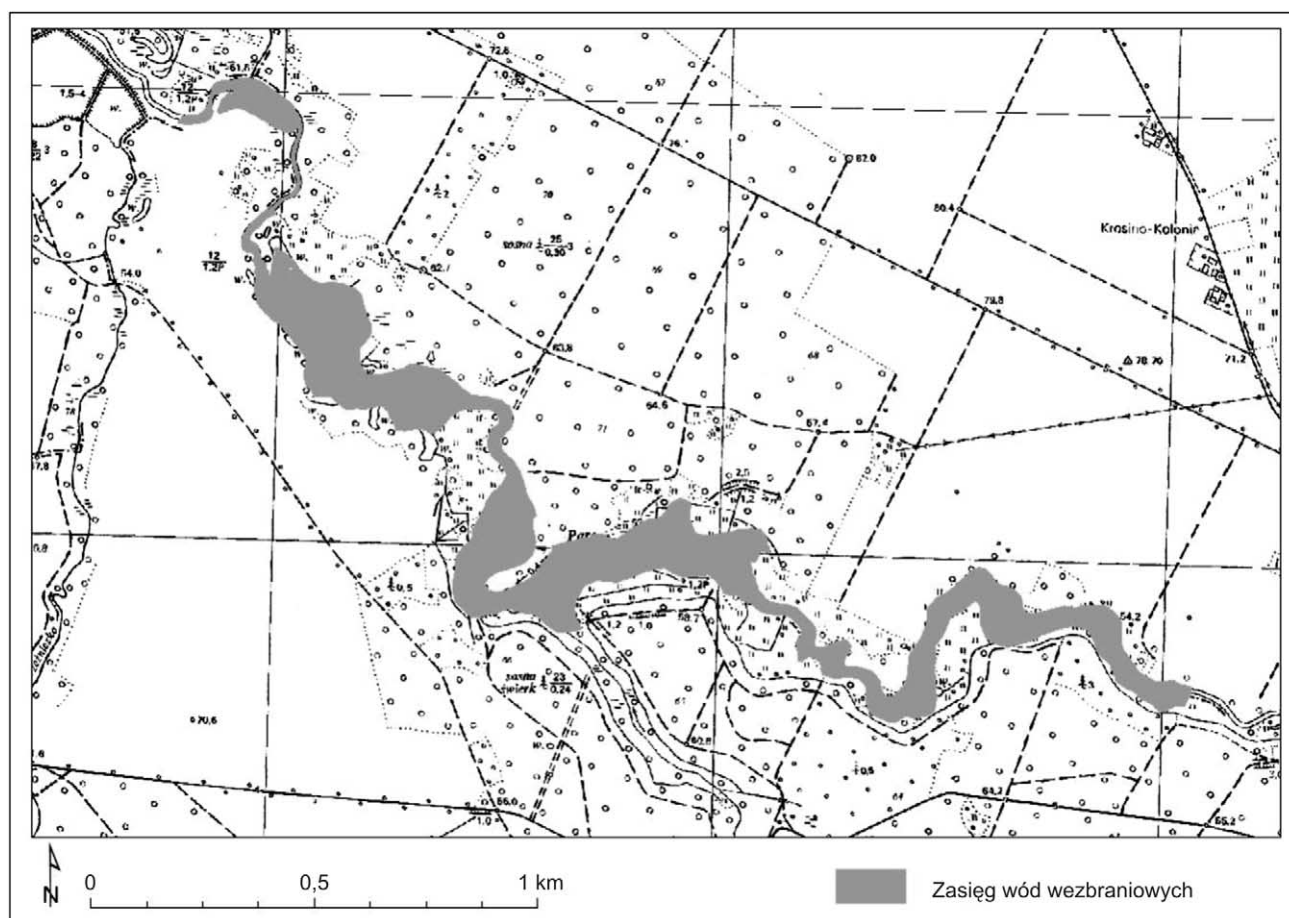
Z cyfrowych modeli terenu pozyskano następujące dane geometryczne charakteryzujące dolinę rzeczna w obrębie analizowanych odcinków: przekroje poprzeczne, oś rzeki, brzegi rzeki, zasięg równiny zalewowej. Dane te zostały wyeksportowane w formacie plików .xml do modelu hydraulicznego HEC-RAS 3.1.1. Jest to jednowymiarowy model służący do obliczania położenia zwierciadła wody w sieci koryt otwartych. Obliczenia można przeprowa-

**Tabela 1.** Powierzchnie obszarów zalanych wodami wezbraniowymi  $Z_w$  dla analizowanych przepływów wody Parsęty  $Q$

Krosino		Dębczyno		Bardy	
przepływ $Q$ [ $m^3 s^{-1}$ ]	powierzchnia $Z_w$ [ha]	przepływ $Q$ [ $m^3 s^{-1}$ ]	powierzchnia $Z_w$ [ha]	przepływ $Q$ [ $m^3 s^{-1}$ ]	powierzchnia $Z_w$ [ha]
15,8	4,9263	21,4	5,4375	53,8	46,3931
17,7	4,9555	22,7	5,8960	55,8	47,0704
19,1	5,0000	23,6	6,4523	58,8	48,0536
20,7	5,1311	25,6	7,0105	65,8	50,2932
33,9	13,9126	32,6	15,3621	77,0	53,6814
56,3	29,5760	58,9	36,7735	85,2	56,0223
50,9	26,9978	62,9	34,2581	91,3	57,6818
45,5	23,0810	59,6	32,0610	94,4	58,4408
42,3	21,0764	56,4	30,2408	92,3	57,9377

dział dla przepływu ustalonego i nieustalonego. Podstawowymi równaniami wykorzystywanymi przez program są równania energii i ilości ruchu (Brunner 2002). Do modelu wprowadzono dane geometryczne charakteryzujące analizowane odcinki oraz spadki dna rzeki w ich obrębie. Określono współczynniki szorstkości Manninga dla koryta głównego oraz równiny zalewowej. Obliczenia układu zwierciadła wody

wykonano dla przepływów gałęzi wznoszącej fali wezbraniowej, która odnotowana została w okresie od 23 do 31 marca 1979 r. Obliczona przez model powierzchnia zwierciadła wody dla poszczególnych wartości przepływów została wyeksportowana do środowiska geoinformacyjnego. Zasięg wód wezbraniowych wyznaczany był przy założeniu, że zwierciadło wody miało większą wartość niż wysokość te-



**Ryc. 2.** Zasięg przestrzenny fali wezbraniowej przy kulminacji wezbrania  $Q = 56,30 m^3 s^{-1}$  dla odcinka Parsęty w okolicach Krosina

renu, i został ograniczony krawędzią przecięcia się tych dwóch powierzchni.

## Wnioski

W przeprowadzonych symulacjach dla odcinka badawczego Storkowo wody wezbraniowe mieściły się w korycie rzeki. Ma tam miejsce znaczne wcięcie koryta w dno doliny, wysokość krawędzi brzegowych przy stanach średnich waha się od 0,5 do 1,0 m. Ponadto duże spadki sprzyjają szybkiemu odprowadzaniu wód wezbraniowych. W obrębie pozostałych trzech obszarów badawczych: Krosino, Dębczyno, Bardy zostało obliczone i wyznaczone wystąpienie przelewania się wód wezbraniowych z koryta na równinę zalewową na całych długościach analizowanych odcinków. Najbardziej znaczne powierzchniowo zasięgi fali wezbraniowej odnotowano na odcinku badawczym Bardy zlokalizowanym w dolnym biegu rzeki, gdzie oprócz wysokich przepływów wody należy odnotować niskie krawędzie brzegowe, ułatwiające wylewanie się wód wezbraniowych na równinę zalewową. W tabeli 1 przedstawiono symulowane wartości powierzchni obszarów wód wezbraniowych.

Na podstawie uzyskanych zasięgów fali wezbraniowej wykonano mapy terenów zalewowych. Na rycinie 2 pokazano przykładowy zasięg przestrzenny kulminacji fali wezbraniowej na odcinku badawczym Krosino.

Analiza wszystkich map terenów zalewowych upoważnia do stwierdzenia, iż przyjęta metoda modelowania pozwoliła wyznaczyć kolejne zasięgi zalania dna doliny Parsęty przez wzrastające wody wezbraniowe. Wyniki tych symulacji potwierdzają bezpośrednio obserwacje terenowe dotyczące nadbudowania osadami pozakorytowymi równin zalewowych Parsęty (Zwoliński 1985).

## Literatura

- Carrara A., Bitelli G., Carla R. 1997. Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines. *International Journal of Geographical Information Science*, 11, 5: 451–473.
- Bates P.D., Anderson M.G., Hervouet J.M., Hawkes J.C. 1997. Investigating the behaviour of two-dimensional finite element models of compound channel flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 3–17.
- Brunner G. 2002. HEC-RAS. River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis.
- Choiński A. 1988. Zróżnicowanie i uwarunkowania zmienności przepływów rzek polskich. Wyd. Nauk. UAM, Seria Geogr., 39.
- Dynowska I. 1971. Typy reżimów rzecznych w Polsce. *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 28, Prace Instytutu Geogr., 50.
- Gaździcki J. 1990. Systemy informacji przestrzennej. PPWK, Warszawa.
- Hunter N.M., Bates P.D., Horritt M.S., Wilson M.D. 2007. Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology*, 90: 208–225.
- Karczewski A. 1989. Morfogenezja strefy marginalnej fazy pomorskiej na obszarze lobu Parsęty w vistulianie (Pomorze Środkowe). Wyd. Nauk. UAM, Geografia, 44.
- Kostecki S., Twaróg B. 2003. Zastosowanie numerycznego modelu terenu do wyznaczania stref zagrożenia powodziowego. *Gospodarka Wodna*, 5: 198–203.
- Nachlik E., Kostecki S., Gądek W., Stochmal R. 2000. Strefy zagrożenia powodziowego. Biuro Koordynacji Projektu Banku Światowego, Wrocław.
- Ostrowski J. 2000. Monografia katastrofalnych powodzi w Polsce w latach 1946–1998. IMGW, Warszawa.
- Przywara J. 2000. Wyboista droga do TBD. *Geodeta*, 4: 36–39.
- Sinnakaudan S.K., Ghani A., Ahmad S., Zakaria A. 2003. Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport. *Environmental Modelling & Software*, 18: 119–130.
- Tate E.C., Olivera F., Maidment D. 1999. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. The University Of Texas at Austin, Austin.
- Weibel R., Heller M. 1991. Digital Terrain Modeling. [W:] D. Maguire, M. Goodchild, D. Rhind (red.), *Geographical Information Systems*. Longman Scientific and Technical, London, s. 269–297.
- Wilson M.D., Atkinson P.M. 2005. The use of elevation data in flood inundation modelling: a comparison of ERS interferometric SAR and combined contour and differential GPS data. *International Journal of River Basin Management*, 3: 3–20.
- Zwoliński Z. 1985. Sedymentacja osadów przyrostu pionowego na terasie zalewowej Parsęty. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A, Geografia Fizyczna*, 35: 205–238.
- Zwoliński Z. 1989. Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzeczno-go. *Dokumentacja Geograficzna*, 3–4.