

WPLYW JAKOŚCI DANYCH NA MODELOWANIE STREF ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

INFLUENCE OF DATA QUALITY ON MODELING OF FLOOD ZONES

Beata Hejmanowska

Akademia Górniczo-Hutnicza

Słowa kluczowe: strefy zagrożenia powodziowego, analiza ryzyka, niedokładność DTM
Keywords: flood zone, risk analysis, DTM uncertainty

Wstęp

Decyzje podejmowane w wyniku przeprowadzonych z wykorzystaniem systemów GIS narzędzi można podzielić, zgodnie z ogólną teorią decyzji, na: decyzje podejmowane w warunkach pewności, ryzyka i niepewności. Jeśli znamy wszystkie następstwa naszej decyzji, to są to warunki pewności. O decyzji w warunkach ryzyka mówimy, jeśli znane są konsekwencje podjęcia danej decyzji oraz prawdopodobieństwo ich wystąpienia. Jeśli nie możemy określić prawdopodobieństw zdarzeń, to są to warunki niepewności [http://pl.wikipedia.org/wiki/Teoria_decyzji].

Wykorzystanie systemów informacji geograficznej (GIS) dla potrzeb wspomagania decyzji ma miejsce na przykład podczas generowania stref zagrożenia powodziowego. W wyniku analizy przecięcia numerycznego modelu terenu (NMT, ang. *DTM – Digital Terrain Model*) z poziomem zwierciadła wody uzyskuje się mapę różnicową. Na mapie różnicowej wartości ujemne oznaczają głębokość wody w strefie zalewowej, wartości dodatnie – wysokość nad poziomem zwierciadła wody, a linia graniczna – wartość różnicy równa zero – jest linią graniczną strefy zalewowej. Następnie, w wyniku zamiany mapy różnicowej na postać zerojedynkową otrzymujemy mapę zalewową, gdzie przykładowo wartość 1 oznacza strefę zalewu, a wartość 0 teren niezagrożony. Opisana metoda, nazywana jest metodą twardą, z uwagi na to, że zakładamy całkowitą pewność, co do przebiegu wyznaczonej w ten sposób linii granicznej.

Bazy danych GIS, wykorzystywane dla potrzeb modelowania stref zalewowych, powinny być tworzone zgodnie z dyrektywą INSPIRE. Zgodnie z nią chcielibyśmy mieć łatwy dostęp do wiarygodnych informacji przestrzennych, stopień wiarygodności powinien być znany, a informacja o tym powinna również znajdować się w bazie danych.

Modelowanie stref zagrożenia powodziowego z wykorzystaniem aplikacji OKI

Obszar znajdujący się w pobliżu rzeki i narażony na możliwość wystąpienia powodzi powinien znajdować się pod specjalnym nadzorem. Dlatego też w większości krajów ustanawia się tzw. strefy zagrożenia powodziowego, inaczej strefy zalewów powodziowych. *Wyznaczają one zasięg przestrzenny powodzi na podstawie danych historycznych oraz zagrożeń hydraulicznych o określonym poziomie ryzyka*, (Nachlik i inni, 2000). Strefy zagrożenia powodziowego są określane w pobliżu rzek, na obszarach intensywnego wpływu powierzchniowego i przybrzeżnych obszarach brzegowych. Wyznaczane są one dla potrzeb prac związanych z szeroko pojętą ochroną przeciwpowodziową rozumianą między innymi jako likwidacja przyczyn wpływających na zasięg i charakter zagrożenia powodziowego, implikująca np. zmiany w zagospodarowaniu terenów.

Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne (OKI) ochrony przeciwpowodziowej w Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej, powstałe w ramach projektu Banku Światowego „Usuwanie skutków powodzi”, zajmują się między innymi kartowaniem zagrożeń powodziowych [<http://oki.krakow.rzgw.gov.pl>]. Strefy zagrożenia powodziowego nazywane są także strefami zalewów powodziowych, a ich zasięg jest wyznaczany na podstawie danych historycznych lub hipotetycznych (przyjmując określone prawdopodobieństwo występowania danego poziomu wody, np. dla wody 1%, czyli poziomu występującego prawdopodobnie raz na 100 lat). Wyróżniane są dwa rodzaje stref zagrożenia: strefy bezpośrednie i potencjalne. Strefy bezpośrednie, to strefy przylegające do cieku oraz obejmujące tereny zalane w przypadku przelania wałów. Strefy potencjalne to strefy zagrożone w przypadku awarii wału.

W bazie danych OKI znajdują się NMT w kroju arkuszowym map topograficznych 1: 10 000. Baza zawiera ponadto punkty wodowskazowe, oraz punkty, w których wykonano modelowanie hydrauliczne. W tych punktach znana jest wysokość zwierciadła wody dla danego scenariusza powodziowego. Generowanie stref zagrożenia powodziowego rozpoczyna się od zdefiniowania dowolnego odcinka na rzece. W aplikacji OKI, w sposób automatyczny generowane są przekroje poprzeczne do rzeki i nadawana jest im wysokość zwierciadła wody dla punktu, w którym zostały wygenerowane przekroje. Następnie, w oparciu o przekroje interpolowana jest powierzchnia zwierciadła wody. W dalszej kolejności w sposób automatyczny, bez konieczności udziału użytkownika i wprowadzania odpowiednich arkuszy NMT, wyznaczana jest linia przecięcia NMT i powierzchni zwierciadła wody. Tak wyznaczona strefa zalewowa jest następnie ręcznie interpretowana, przykładowo w celu ewentualnego usunięcia obszarów nie mających połączenia z rzeką.

Ryzyko związane z wystąpieniem powodzi jest zwykle kojarzone z prawdopodobieństwem wystąpienia określonego poziomu wody. Istnieje jednak inny rodzaj ryzyka, związany z analityczną stroną wyznaczania strefy zalewowej, w tym przede wszystkim z jakością danych źródłowych.

Ryzyko związane z podejmowaniem decyzji w oparciu o narzędzia GIS

Pomimo trudności w jednoznacznym definiowaniu ryzyka, znane jest z literatury (Kaplan, Garrick, 1981) podejście ilościowe, w którym ryzyko jest definiowane następująco:

$$R = S \cdot P \cdot C$$

gdzie:

R – ryzyko

S – scenariusz

P – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia

C – miara skutków wywołanych przez scenariusz S.

Można zadać pytanie, co ma wpływ na wyniki analizy GIS i jakie jest ryzyko związane z wykorzystaniem danych i narzędzi GIS.

Na wynik analizy na pewno wpływ ma jakość zgromadzonych danych. Jakość danych, zgodnie np. z normą ISO/DIS 19113 określa się za pomocą takich parametrów jak:

- kompletność,
- spójność logiczna,
- dokładność przestrzenna,
- dokładność czasowa,
- dokładność tematyczna.

Można założyć, że dane są kompletne, spójne logicznie i aktualne, ponieważ tylko z takich powinniśmy korzystać podczas wspomagania decyzji. W takim przypadku jakość jest określona poprzez dokładność przestrzenną i tematyczną. Dokładność danych ma zasadnicze znaczenia na prawdopodobieństwo (P) zajścia zdarzenia (S).

Dokładność NMT zgodnie z warunkami technicznymi OKI

Numeryczny model terenu dla potrzeb OKI (<http://oki.krakow.rzgw.gov.pl>) był tworzony na podstawie różnych materiałów:

- zdjęcia lotnicze 1: 26 000,
- mapy topograficzne 1: 10 000,
- pomiar GPS.

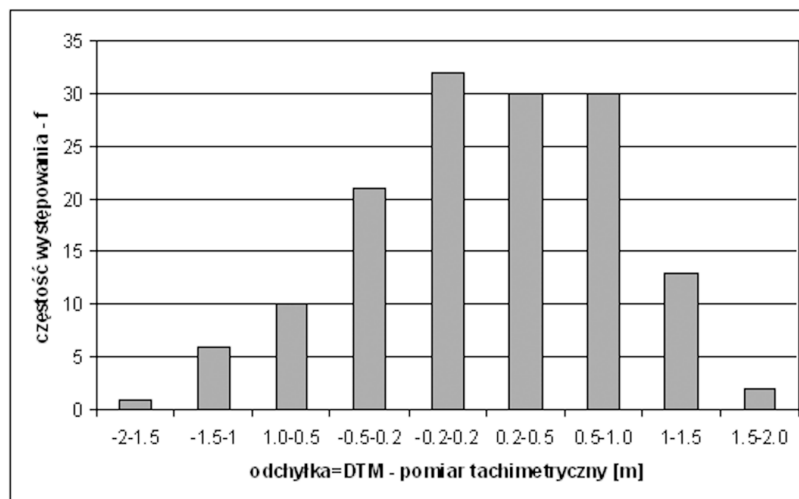
Specyfika NMT dla potrzeb generowania stref zalewowych powoduje, że jego dokładność powinna być zróżnicowana przestrzennie dla:

- powierzchni potencjalnie zagrożonych zalaniem średni błąd jest mniejszy niż 0,8 m
- pozostałych powierzchni, spadek do 6°, średni błąd jest mniejszy niż 1,0 m
- pozostałych powierzchni, spadek większy niż 6°, średni błąd jest mniejszy niż 2,5 m,
- wałów, średni błąd jest mniejszy niż 0,2 m.

Analizując NMT (mapy pochodne: nachyleń i ekspozycji) dla okolic Krakowa można stwierdzić, że dla przeważającego obszaru błąd NMT powinien być mniejszy niż 1 m.

Weryfikacja terenowa NMT – wstępne wyniki

W ramach praktyki studenckiej po IV roku specjalności: Geoinformatyka, Fotogrametria i Teledetekcja Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie przeprowadzono w czerwcu 2006 roku bezpośredni pomiar tachimetryczny w celu weryfikacji NMT. Pomiar wykonano na wałach w okolicy Wawelu oraz na granicy strefy zalewowej.



Rys. 1. Histogram rozkładu błędu NMT, wartość średnia odchyłki DTM – wysokość z pomiaru tachimetrycznego: 0,19 m, odchylenie standardowe: +/-0,65 m

Wyniki prac zostały wstępnie opracowane i uzyskano wartość średnią różnicy pomiędzy NMT a pomiarem tachimetrycznym 0,19 m i odchylenie standardowe $\pm 0,65$ m (dla 149 punktów pomiarowych w 16 profilach, rys. 1, rys. 2).

Ryzyko związane z wyznaczeniem strefy zagrożenia powodziowego na podstawie NMT o określonej dokładności

Uwzględnianie dokładności NMT w analizach przestrzennych wykonywanych za pomocą algebry map nie jest możliwe wprost w dostępnych programach GIS. Ogólnie można powiedzieć, że programy te nie dostarczają razem z wynikiem analizy przestrzennej dokładności jej wyniku. Czyli z reguły nie udostępniają informacji o dokładności wykorzystywanych algorytmów obliczeniowych. Obecnie popularna w GIS staje się statystyczna metoda Monte Carlo, która pozwala przeprowadzać analizy dokładności algorytmów obliczeniowych. Wadą tej metody jest konieczność wykonania setek powtórzeń w celu oszacowania rozkładu przestrzennego dokładności wyniku analizy. Pojawiły się różne projekty dotyczące praktycznych zastosowań metody Monte Carlo, między innymi stopniowo również w zakresie ochrony przeciwpowodziowej. Przykładem może być projekt: Interreg Rhine-Meuse Activities (IRMA), w ramach którego powstało oprogramowanie: FLOODMAP uwzględniające w modelowaniu stref zalewowych niedokładność NMT, wykorzystujące metodę Monte Carlo (Krause i inni, 2003).

Podsumowując, analizę dokładności algorytmu przecięcia NMT i zwierciadła wody można przeprowadzić albo metodą Monte Carlo albo metodą analityczną, wykorzystując dystrybuantę rozkładu błędu NMT. Opisana poniżej analityczna, miękka metoda generowania stref zalewowych wokół rzeki jest modyfikacją propozycji modelowania stref zalewowych w obszarach nadmorskich (Eastman, 2001).

W metodzie miękkiej zakłada się, że dane są obarczone błędem i zamiast linii zalewowej wyznacza się rozkład przestrzenny prawdopodobieństwa, że teren zostanie zalany. Następnie, w sposób świadomy można zdecydować się na wyznaczenie strefy zagrożenia, pozostawiając na przykład 10% prawdopodobieństwo, że woda znajdzie się poza wyznaczoną w ten sposób linią (Hejmanowska, 2003, 2005).

Przykładową analizę ryzyka przeprowadzono zakładając jednorodny przestrzennie błąd NMT równy ± 1 m. W wyniku analizy rozkładu przestrzennego prawdopodobieństwa, że teren zostanie zalany wyznaczono zasięg strefy zalewowej, pozostawiając obszar o prawdopodobieństwie zalania na poziomie ufności 0.9. Następnie w wyniku dalszej analizy GIS wyznaczono obszary zabudowane znajdujące się w tej strefie oraz w strefie wyznaczonej metodą twardą. Zakładając hipotetyczne koszty związane z usuwaniem skutków powodzi określono rozkład przestrzenny ryzyka, w tym przypadku finansowego, związanego z decyzją wyznaczenia danego przebiegu linii zalewowej.

Na rysunku 3 zaprezentowano wynik analizy ryzyka finansowego związanego z wyznaczeniem linii granicznej strefy zagrożenia powodziowego metodą twardą i miękką.

Wnioski

W przeprowadzonej analizie wpływu jakości danych na modelowanie strefy zalewowej brano pod uwagę dokładność NMT. Strefę generowano z uwzględnieniem (metoda miękka) i bez uwzględnienia (metoda twarda) dokładności NMT. W wyniku porównania metody twardej i miękkiej wykorzystanej dla potrzeb modelowania stref zagrożenia powodziowego nasuwają się następujące wnioski:

- wykorzystanie metody twardej powoduje, że istnieje 50% prawdopodobieństwo, że obszar położony poza tą strefą zostanie zalany,
- wykorzystanie metody miękkiej pozwala na świadome zarządzanie ryzykiem związanym z wpływem dokładności NMT na strefę zalewu,
- za pomocą wzoru na ryzyko (Kaplan, Garrick, 1981) jest możliwe ilościowe szacowanie ryzyka finansowego związanego z przebiegiem linii zalewowej na założonym poziomie ufności.

Literatura

- Eastman J.R., 2001: Guide to GIS and Image Processing. Idrisi Manual Version 32.20.
- Hejmanowska B., 2003: Data inaccuracy in geographic system – propagation of DTM and orthophotomaps in the spatial analysis. *Geodezja* 40, Prace Komisji Geodezji i Inżynierii Środowiska, PAN, Oddział w Krakowie.
- Hejmanowska B., 2005: Wpływ jakości danych na ryzyko procesów decyzyjnych wspieranych analizami GIS. AGH Uczelniane Wydawnictw Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005, ISN 0867-6631.
- Kaplan S., Garrick B.J, 1981: On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis* 1981.
- Krause J., Uhrich S., Bormann H., Diekkrüger B., 2003: Uncertainty Analysis of a Floodrisk Mapping Procedure Applied in Urban Areas. Hydrology Division, Geographical Institute University of Bonn, <http://www.giub.uni-bonn.de/hrq/Poster%20and%20Presentations/nizza02.pdf>.
- Nachlik E., Kostecki S., Gądek W., Stochmal R., 2000: Strefy zagrożenia powodziowego. Rodzaje stref, podstawy ich ustalania i doświadczenia praktyczne – Komponent B.4 projektu Likwidacji Skutków Powodzi finansowego w ramach kredytu Banku Światowego, Biuro Koordynacji Projektu Banku Światowego we Wrocławiu.

Summary

The aim of INSPIRE programme is to assure an easy access to reliable spatial information. Spatial data should thus be reliable and the degree of its reliability should be known and information about it should be contained in the database. Reliability of data is proved by its quality, which should be taken into account when GIS systems are used to support decisions, for instance, in modeling of flood risk areas.

Coordination-Information Centers (OKI) of flood protection in Regional Water Management Boards set up within the framework of a World Bank project „Removal of flood effects” deal, among others with mapping of flood risks [<http://oki.krakow.rzgw.gov.pl>]. Areas of flood risks, also called flooding areas, and their reach, are outlined based on historical or hypothetical data (assuming determined probability of a given water level, e.g. for water 1%, or water level probable to appear once in 100 years). Two types of flood risks areas distinguished: direct risk areas and potential risk areas. Direct flood risk areas are adjacent to water flow and cover terrain flooded when the river overflows floodbanks. Potential flood risk areas are the areas in danger of floods when there is a damage of floodbanks.

Spatial reach of the area is outlined as a result of GIS analysis of intersection of the surface of water table with Digital Terrain Model (DTM). The accuracy of DTM is varies from +/-0.2m for floodbanks to +/-2.5m in the area with diversified lie of the land (gradient higher than 6 degrees).

The risk of flood is usually associated with probability of a certain water level. However, there is other kind of risk, connected with analytical side of outlining flood areas, including first of all the quality of source data. When data is complete and up to date, the main parameter featuring the quality of data is their accuracy.

In this case accuracy of source data may be understood as the accuracy of DTM and the accuracy of outlining the level of water table (e.g. based on hydrological modeling). The risk connected with not taking into account the quality of source data in modeling flood areas may be calculated on the basis of a formula [Kaplan S., Garrick B.J, 1981 – „On the quantitative definition of risk”, Risk Analysis 1981]:

$$R = S \cdot P \cdot C$$

where:

S – scenario,

P – probability of scenario S taking place,

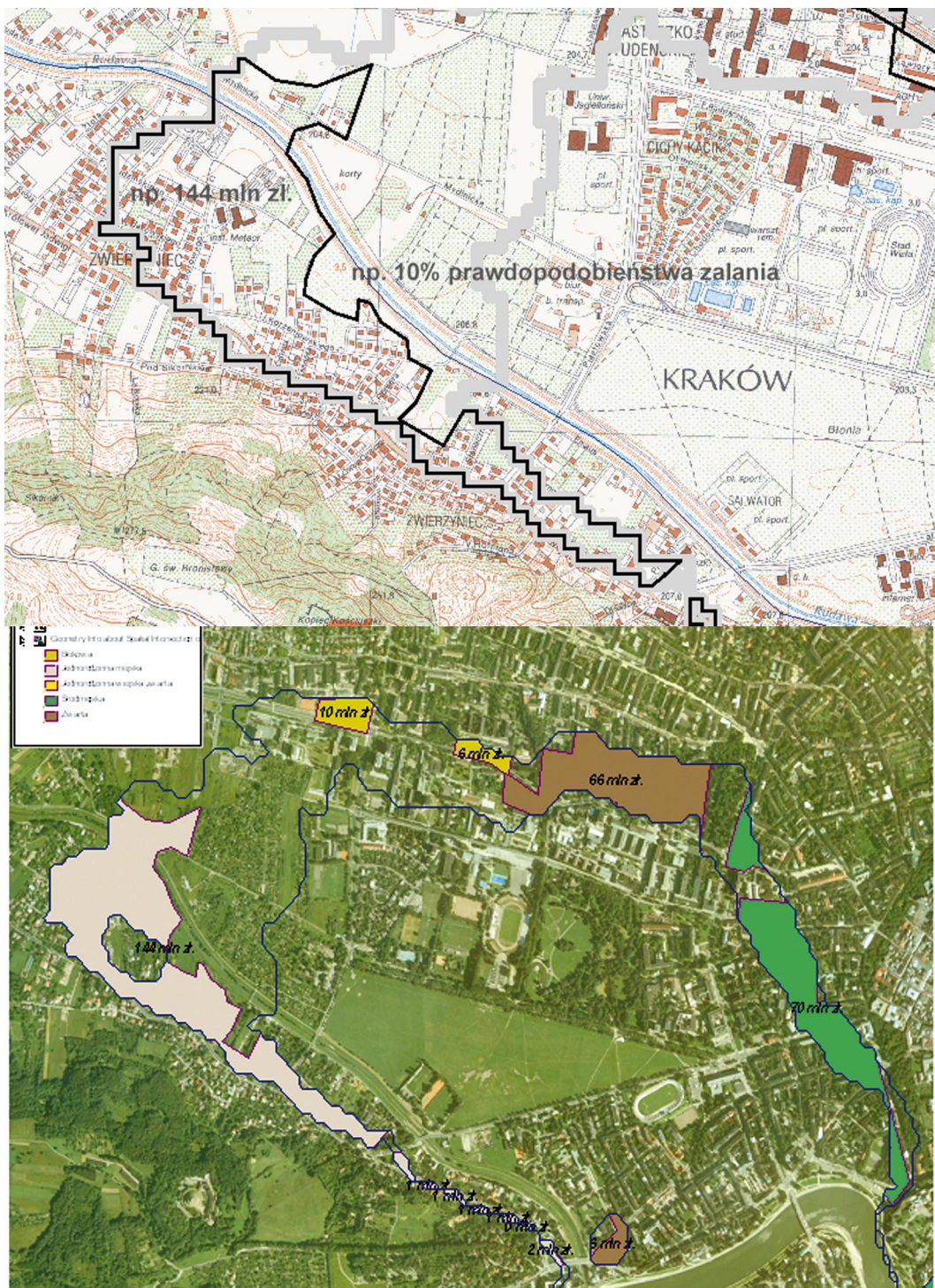
C – measure of effects of the scenario S.

The key issue is the probability (P) of scenario (S) taking place. Let us assume, for instance, scenario S (e.g. water 1%). On the basis of spatial distribution: inaccuracy of DTM and water table may generate a map of probability distribution for a given terrain to be flooded, instead of a flood line traditionally outlined. When analyzing objects at potential risk we may assign to them „measure of effects” caused by flood, e.g. financial measure. Then, in the result of spatial analysis a map of risk distribution may be generated, based on the above formula, connected with outlining a given flood area based on source data with accuracy determined in the beginning.

The paper presents an example of modeling a flood area taking into account and neglecting inaccuracy of source data. On this basis, the risk connected with not taking into account the quality of source data in modeling of flood risk area may be analyzed.



Rys. 1. Strefa zagrożenia powodziowego (bezpośrednia – OKI Kraków) z zaznaczonymi profilami pomiaru tachimetrycznego



Rys. 3. Analiza ryzyka związanego z generowaniem strefy zalewowej klasycznie, metodą twardą w porównaniu z wynikiem metody miękkiej uwzględniającej dokładność NMT