WPŁYW JAKOŚCI DANYCH NA MODELOWANIE STREF ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Influence of data quality on flood zones modeling

BEATA HEJMANOWSKA
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Słowa kluczowe: strefy zagrożenia powodziowego, analiza ryzyka, niedokładność DTM

Key words: 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, lub 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 E. i inni 2000]. Strefy zagrożenia powodziowego są określane w pobliżu rzek, na obszarach intensywnego spływu

powierzchniowego i przymorskich 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, implikującą 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 Numeryczne Modele Terenu (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 zdefiniowani 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

Po mimo trudności w jednoznacznym definiowaniu ryzyka, znanie jest z literatury [Kaplan S., Garrick B.J] podejście ilościowe, w którym ryzyko jest definiowane następująco:

R= S P 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 http://oki.krakow.rzgw.gov.pl

Numeryczny Model Terenu dla potrzeb OKI był tworzony na podstawie różnych materiałów:

- Zdjęcia lotnicze 1: 26000
- Mapy topograficzne 1: 10000
- Pomiar GPS

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

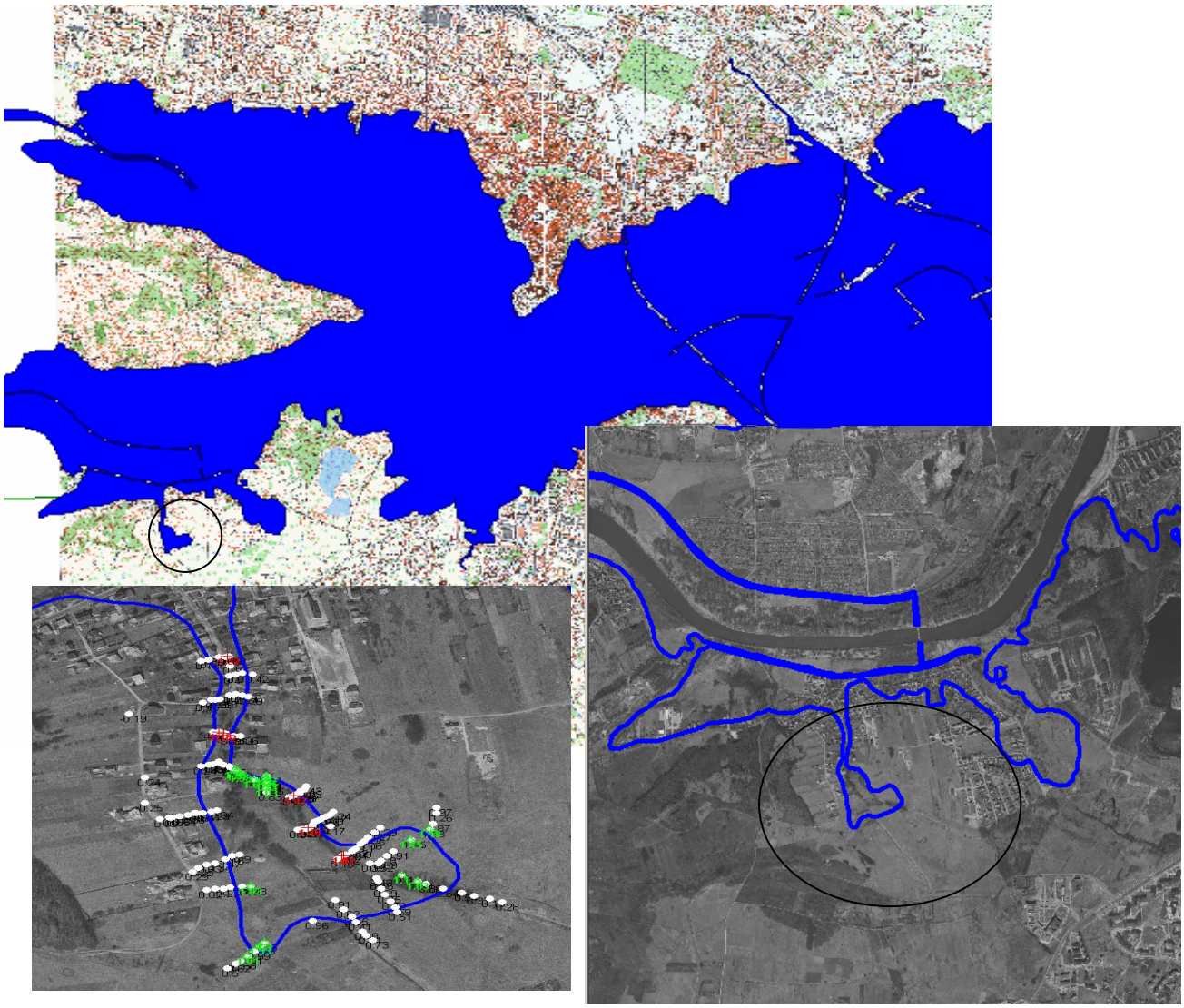
- dla powierzchni potencjalnie zagrożonych zalaniem średni błąd jest mniejszy niż 0,8m
- dla pozostałych powierzchni, spadek do 6°, średni błąd jest mniejszy niż 1,0 m
- dla pozostałych powierzchni, spadek większy niż 6°, średni błąd jest mniejszy niż 2,5m,
- dla wałów średni błąd jest mniejszy niż 0,2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

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

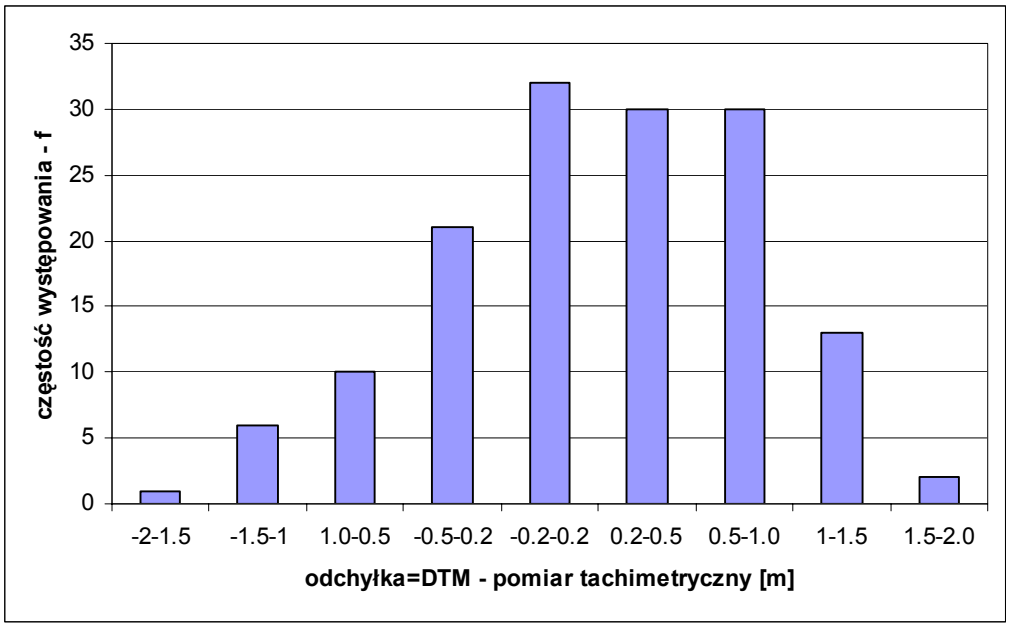
Weryfikacja terenowa NMT – wstępne wyniki

W ramach praktyki studenckiej po IV 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 przeprowadzono na wałach w okolicy Wawelu oraz na granicy strefy zalewowej.

Wyniki prac zostały wstępnie opracowane i przykładowo uzyskano wartość średnią różnicy pomiędzy NMT a pomiarem tachimetrycznym 0.19 m i odchylenie standardowe +/-0.65 (dla 149 punktów pomiarowych w 16 profilach, Rys.1, Rys. 2).



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



Rys. 2 Histogram rozkładu błędu NMT, wartość średnia odchyłki DTM – wysokość z pomiaru tachimetrycznego: 0.19 m, odchylenie standardowe: +/-0.65 m

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

Uwzględnianie dokładności DTM w analizach przestrzennych wykonywanych za pomocą algebry map nie jest możliwe wprost w dostępnych programach GIS'owskich. 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'ie 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 DTM, wykorzystujące metodę Monte Carlo [Krause J. i inni 2003].

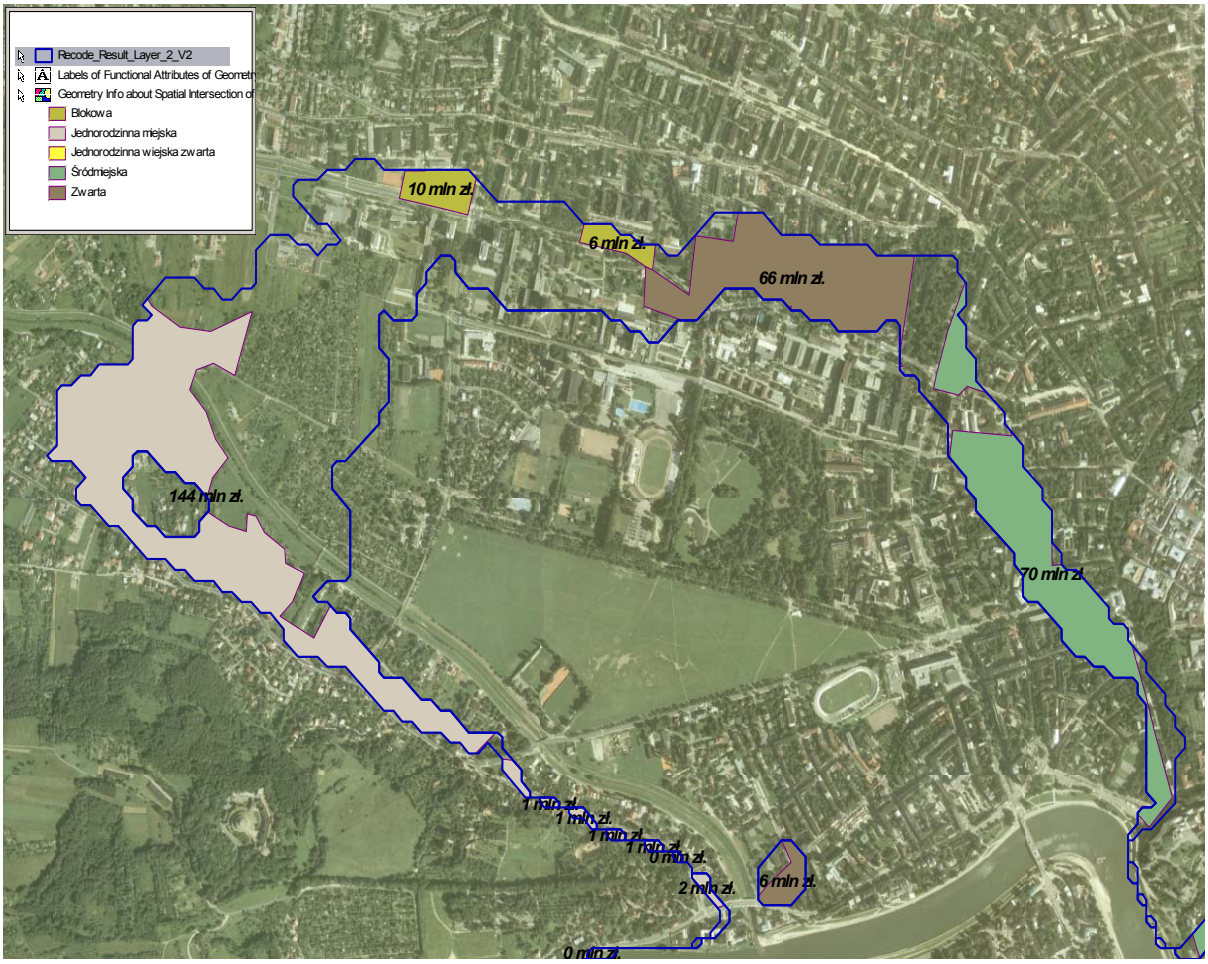
Podsumowując, analizę dokładności algorytmu przecięcia NMT i zwierciadła wody można przeprowadzić albo metodą Monte Carlo albo metodą analityczną, wykorzystując dystrybuantę rozkładu błędu NMT. Opisana poniżej analityczna, miękka metoda generowania stref zalewowych wokół rzeki jest modyfikacją propozycji modelowania stref zalewowych w obszarach nadmorskich [Eastman J.R. 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 B. 2003, 2005].

Przykładową analizę ryzyka przeprowadzono zakładając jednorodny przestrzennie błąd NMT równy +/- 1m. 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'owskiej 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.

Poniżej zaprezentowano wynik analizy ryzyka finansowego związanego z wyznaczeniem linii granicznej strefy zagrożenia powodziowego metodą twardą i miękką (Rys.3).



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

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 S., Garrick B.J, 1981] jest możliwe ilościowe szacownie ryzyka finansowego związanego z przebiegiem linii zalewowej na założonym poziomie ufności.

Bibliografia

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 ortophotomaps 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/hrg/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