

**ZASTOSOWANIE GIS W SZACOWANIU
POTENCJALNYCH STRAT POWODZIOWYCH
W KONTEKŚCIE ZAGOSPODAROWANIA
OBSZARÓW ZALEWOWYCH NA PRZYKŁADZIE
MIAST WOJEWÓDZTWA ZACHODNIOPOMORSKIEGO***

**APPLICATION OF GIS IN POTENTIAL FLOOD LOSSES
ESTIMATION IN THE CONTEXT OF FLOODPLAIN
MANAGEMENT THE CASE OF CITIES
IN ZACHODNIOPOMORSKIE VOIVODESHIP**

Ewa Głosińska

Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Instytut Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej
Zakład Planowania Przestrzennego

Słowa kluczowe: GIS, potencjalne straty powodziowe, zagospodarowanie obszarów zalewowych
Keywords: GIS, potential flood losses, floodplain management

Wprowadzenie

Występowanie powodzi ponosi za sobą wiele strat w sferze ekonomicznej, społecznej oraz ekologicznej (Guzzetti et al., 2005; Schmidt et al., 2006; Lerner, 2007). Jest to zjawisko hydrologiczne o znaczeniu społeczno-ekonomicznym (Jermaczek et al., 2008). Określanie potencjalnych strat powodziowych jest elementem oceny ryzyka powodziowego, obrazującym skutki ekonomiczne wystąpienia powodzi. Odbywa się ono na etapie sporządzania map ryzyka powodziowego (por. Buczek, Nachlik, 2011).

Szkody powstałe w wyniku wystąpienia powodzi można podzielić na bezpośrednie, czyli wymierne, wynikające z fizycznego uszkodzenia lub zniszczenia dóbr materialnych, oraz pośrednie, trudne do wymierzenia, będące skutkiem strat bezpośrednich, na przykład szkody w środowisku bądź zahamowanie rozwoju działalności gospodarczej (Wołoszyn, 2006). W niniejszym badaniu zostały wzięte pod uwagę potencjalne straty powodziowe wynikające

*Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/03/N/HS4/00436.

ze strat materialnych powstałych w wyniku uszkodzenia składników majątkowych, materiałów podstawowych i towarów w przypadku wystąpienia powodzi.

Powódź, będąca niejednokrotnie tragiczną w skutkach klęską żywiołową, dokonuje się w przestrzeni geograficznej, odwzorowanej w systemie informacji geograficznej (GIS). Dlatego warto rozważyć, w jakim stopniu opis tej przestrzeni i techniki GIS mogą wesprzeć działania mające na celu ograniczanie negatywnych konsekwencji wystąpienia powodzi (Eckes, 2010). Za hipotezę badawczą przyjęto zatem twierdzenie, że GIS można wykorzystywać do szacowania potencjalnych strat powodziowych.

Celem badań, których wyniki zaprezentowano w artykule, jest przedstawienie możliwości wykorzystania GIS w procedurze szacowania potencjalnych strat powodziowych w Polsce, na przykładzie dwóch miast Gryfino i Police, położonych w dolnym, ujściowym odcinku biegu rzeki Odry, w województwie zachodniopomorskim. Przeprowadzona analiza polega na określeniu zmian wysokości potencjalnych strat powodziowych na podstawie zmian form zagospodarowania obszarów zalewowych dla lat 1996-2007.

Metody szacowania potencjalnych strat powodziowych

Bezpośrednie materialne straty stanowią znaczną część całkowitych szkód powodziowych (por. Smith, Ward, 1998). Niemniej jednak, przy generalnej ocenie szkód powodziowych należy wziąć również pod uwagę pośrednie szkody niematerialne (Messner, Meyer, 2005). W modelowaniu strat materialnych i niematerialnych wykorzystuje się różnicowane czasowo i przestrzennie dane między innymi o liczbie ludności (Aubrecht et al., 2009 za Kang et al., 2005), użytkowaniu gruntów (Aubrecht et al., 2009 za De Roo et al., 2006), wydarzeniach historycznych (Aubrecht et al., 2009 za Pielke et al., 2002) czy głębokości zalewu (Aubrecht et al., 2009).

Powszechnie stosowanych jest wiele metod oceny materialnych strat powodziowych, różniących się nieco w zależności od specyfiki zjawisk powodziowych w poszczególnych krajach. Czynniki decydującymi o wysokości potencjalnych strat powodziowych, stanowiącymi najczęściej podstawę do opracowania modelu oceny strat powodziowych, są: 1) cechy powodzi (jej scenariusze), 2) liczba, rodzaj i położenie (wysokość n.p.m.) narażonych elementów (nieruchomości), wyrażone w formie danych o użytkowaniu terenu, 3) wartości nieruchomości i mienia oraz 4) ich wrażliwość na wypadek wystąpienia powodzi, określonej za pomocą funkcji strat powodziowych (Meyer, Messner, 2007).

Cechy powodzi w modelu szacowania strat mogą być określone przez powierzchnię (Behnen, 2000; Ebenhöh et al., 1997), głębokość, długość trwania zalewu, prędkość przepływu wody, czas wystąpienia zalewu (Satrapa et al., 2005; Čihák et al., 2005) czy też niesiony przez wody ładunek toksykologiczny (Meyer, Messner, 2007). Najczęściej wykorzystywaną cechą powodzi jest głębokość zalewu, rzadziej, dodatkowo, długość trwania powodzi (w Wielkiej Brytani – Penning-Roswell et al., 2003) i prędkość przepływu (dla powodzi błyskawicznych w Holandii – Kok et al., 2004). Co ciekawe, analiza danych empirycznych o stratach powodziowych wykazała, że głębokość powodzi w niewielkim stopniu tłumaczy zmienność poniesionych strat (Merz et al., 2004).

Dane o użytkowaniu terenu mogą być silnie zróżnicowane skalą przestrzenną i poziomem kategoryzacji, wahać się od zgeneralizowanych danych o zagospodarowaniu przestrzennym, np. obszary przemysłowe, mieszkaniowe (dane zagregowane), do szczegółowych infor-

macji o rodzaju każdego budynku, pojedynczej nieruchomości (dane obiektowe). Z reguły dane o wysokiej rozdzielczości przestrzennej cechują się wysokim poziomem kategoryzacji użytkowania terenu (np. na obszarach miejskich). Informacje te mogą być gromadzone w formie szczegółowych danych punktowych, obszarowych, liniowych bądź w postaci siatki (Meyer, Messner, 2007). Należy jednak podkreślić, że sposób kategoryzacji danych o użytkowaniu terenu w dużej mierze zależy od charakteru badanego obszaru. Na przykład na obszarach wiejskich rozróżnia się wśród terenów rolnych dodatkowo grunty orne oraz użytki zielone.

Wartość majątku określana jest w kategoriach pieniężnych i może stanowić zawyżoną pełną wartość odtworzenia obiektu (zastąpienia nowym), szacowaną przez firmy ubezpieczeniowe, lub wartości zamortyzowane użytkowanego obiektu (Meyer, Messner, 2007). Wartość zagrożonego majątku może być uwzględniona w procesie oceny strat powodziowych na dwa sposoby: 1) przez podanie łącznej wartości elementów narażonych na ryzyko lub 2) wysokości strat w zależności od wielkości cech powodzi (Meyer, Messner, 2007). Wartość majątku określa się dla poszczególnych elementów zagrożonych powodzią (np. terenów, budynków, przedmiotów, urządzeń). W niektórych krajach europejskich dostępne są oficjalne statystyki z danymi o wartościach nieruchomości i budynków (Meyer, Messner, 2007).

Funkcja strat określa wrażliwość (podatność) narażonego majątku na pewne cechy powodzi, głównie na głębokość zalewu (Messner, Meyer, 2005). Określając jednak straty w rolnictwie należy kierować się nie głębokością zlewu, lecz także czasem wystąpienia powodzi. W okresie przed zniwami straty te będą zdecydowanie wyższe niż w okresie jesiennym (por. Green, 2003; DEFRA, 1999). Wyróżnia się ponadto funkcje strat względnych (relatywnych), przedstawiające udział zniszczeń w całkowitej wartości strat w zależności od głębokości wód powodziowych oraz funkcje szkód bezwzględnych (absolutnych), przedstawiające bezwzględne wartości strat dla każdej nieruchomości (obiektu), będące wynikiem połączenia danych o głębokości zalewu i informacji o przeznaczeniu gruntów (Meyer, Messner, 2007). Funkcja strat bezwzględnych wykorzystywana jest przykładowo w Wielkiej Brytanii oraz była niegdyś używana w Niemczech. Funkcje strat relatywnych stosowane są między innymi w Holandii (metoda standardowa Dutch), na Węgrzech (Harlcrow et al., 1999) oraz czasami w Niemczech (Klaus, Schmidte, 1990; IKS, 2001; MURL, 2000; Reese et al., 2003). Należy jednocześnie podkreślić, że funkcje strat względnych, w przeciwieństwie do funkcji strat absolutnych, są niezależne od wysokości wartości majątku, w związku z czym łatwiej jest je przenieść na inne obszary badawcze (regiony) (Meyer, Messner, 2007). Mimo tego Meyer, Messner (2007), w przypadku dostępu do wartości aktywów, zalecają stosować funkcje strat względnych.

Potencjalne straty powodziowe określone są więc przez powiązanie danych o użytkowaniu terenu, głębokości powodzi oraz wartości i wrażliwości na powódź zagrożonego majątku (por. Buczek, Nachlik, 2011). Określenie wysokości strat dla jednostki użytkowania terenu pozwala z kolei na oszacowanie strat całkowitych dla każdego scenariusza powodzi.

Wykorzystanie GIS w szacowaniu potencjalnych strat powodziowych

System informacji geograficznej (GIS) pełni istotną rolę w modelowaniu potencjalnych strat powodziowych. Przy wykorzystaniu narzędzi GIS generowane są bowiem dane wejściowe o zagrożeniu powodziowym, poprzez wyznaczenie zasięgu, głębokości i innych pa-

rametrów opisujących powódź. GIS pozwala również na rejestrowanie i gromadzenie danych o strukturze użytkowania terenu na obszarze badań. System informacji geograficznej, umożliwiając łatwe i proste opracowanie informacji przestrzennej (w przeciwieństwie do tradycyjnych baz danych) wydaje się być odpowiednim narzędziem do oceny szkód powodziowych, ponieważ zarówno dane dotyczące cech powodzi, jak i dane na temat użytkowania gruntów mają wymiar przestrzenny i muszą być wzajemnie ze sobą zestawione w celu określenia obszaru zagrożonego powodzią. W tym celu techniki GIS wydają się być wręcz niezbędne, przynajmniej w niektórych częściach procedury oceny szkód powodziowych (Meyer, Messner, 2007).

Narzędzia GIS niejednokrotnie wykorzystuje się także w celu kategoryzacji form użytkowania budynków i terenów, łącząc ją z symulacją zalania powodziowego (Dutta, Herath, 2001 za Aubrecht et al., 2009). Funkcjonalne grupowanie obiektów wymaga połączenia różnorodnych zbiorów danych przestrzennych zawierających plany zagospodarowania przestrzennego, adresy i dane firm. W tym celu, na przykład Aubrecht et al. (2008, za Aubrecht et al., 2011) opracowali model w programie ArcGIS w *Model Builder*, który poprzez integrację różnorodnych przestrzennych i związanych z przestrzenią zbiorów danych posłużył do klasyfikacji funkcjonalnej budynków. Ponadto, badania prowadzone przez Aubrecht et al. (2011) wykazują, że integracja informacji funkcjonalnych o budynkach znacznie poprawia jakość szacowania wysokości szkód i optymalizuje prognozy wysokości szkód powodziowych. Jedną z domen stosowania GIS w ocenie strat powodziowych jest także możliwość korelowania map zagospodarowania terenu z mapami głębokości powodzi. GIS znajduje również szerokie zastosowanie w przypisywaniu wartości majątku trwałego do poszczególnych rodzajów zagospodarowania terenu (por. Sowiński, 2008). Na przykład w Niemczech do kategorii użytkowania gruntów ATKIS (niem. *Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem*) w GIS przyłączane są wartości majątku publikowane w oficjalnych statystykach (w €/m²) (Meyer, Messner, 2007).

Silne przestrzenne zróżnicowanie samego zjawiska powodzi, jak również wysokości strat powodziowych, wywołuje potrzebę przedstawienia ich nie tylko w kategorii jednej liczby pieniężnej, ale również za pomocą mapy w celu określenia rozkładu przestrzennego szkód. Jest to możliwe również za pomocą GIS (Meyer, Messner, 2007).

Opracowano kilka narzędzi mających na celu wsparcie procesu oceny szkód, ryzyka oraz kalkulację kosztów i korzyści z poniesionych nakładów na ochronę przeciwpowodziową. Niektóre z nich oparte są na GIS, przykładowo: w Holandii – HIS-SSM (ang. *Flood Information System Damages and Casualties Module*); w Wielkiej Brytanii – MDSF (ang. *Modeling and Decision Support Framework*); w Czechach – FAT (ang. *Flood Analysis Toolbox*). Inne narzędzia nie uwzględniają wprost wymiaru przestrzennego w swoich wynikach (np. model ESTDAM w Wielkiej Brytanii). Opracowane narzędzia programowe do oceny skutków powodzi stosowane w różnych krajach europejskich mogą znacznie ułatwić ocenę szkód. Funkcjonalność narzędzi GIS jest jednak często ograniczona ze względu na dostosowanie do danych wykorzystywanych do oceny szkód w danym kraju. Ponadto narzędzia te różnią się pod względem oferowanej liczby funkcji – niektóre są wykonane wyłącznie dla oceny szkód, inne do wykonania całej procedury obliczania ryzyka oraz analizy kosztów i korzyści, w celu zapewnienia kompleksowego wsparcia decyzji w zakresie zarządzania ryzykiem powodziowym (Meyer, Messner, 2007).

W Polsce szacowanie potencjalnych strat powodziowych za pomocą narzędzi GIS jest zagadnieniem stosunkowo nowym. Mapy ryzyka powodziowego są obecnie na etapie opraco-

wywania, co jest efektem realizacji Dyrektywy Powodziowej. W 2008 roku przeprowadzono w Polsce projekt pilotażowy opracowywania w GIS map ryzyka powodziowego dla zlewni rzeki Silnicy, stanowiący próbę zaimplementowania niemieckiej metody oceny ryzyka i strat powodziowych do warunków polskich (Drożdżał et al., 2009). Projekt ten wykazał, że w Polsce brakuje wielu danych przestrzennych i statystycznych, niezbędnych do opracowywania tego rodzaju map i prowadzenia stosownych analiz. W związku z tym, na terenie Polski wykonywane są naloty i skaniny laserowy lidar, dostarczający aktualne ortofotomapy i chmurę punktów, na podstawie której można opracować między innymi mapy pokrycia terenu i numeryczne modele terenu, niezbędne do opracowania map zagrożenia i ryzyka powodziowego.

Zakres przestrzenny i metody badań

Badania przeprowadzono na obszarze dwóch powiatowych miast Police i Gryfino, położonych w województwie zachodnio-pomorskim, w dolnym, ujściowym biegu rzeki Odry. Terenami zalewowymi, w przeprowadzonej analizie, są obszary „bezpośredniego” i „pośredniego” zagrożenia powodzią, w rozumieniu „dawnej” ustawy Prawo Wodne¹, Obszary „bezpośredniego” zagrożenia powodzią wykazują wysoki stopień zagrożenia powodziowego. Są to tereny bezpośrednio położone nad rzeką, najczęściej pomiędzy wałami powodziowymi. Natomiast za linią wałów znajdują się tereny „potencjalnego” zagrożenia powodzią o niższym poziomie zagrożenia powodzią.

System informacji geograficznej zastosowano przy: 1) opracowaniu danych o zagospodarowaniu terenów zalewowych, 2) szacowaniu potencjalnych strat powodziowych stosując algorytm obliczeniowy określony w polskim prawie oraz 3) określeniu zmian wysokości potencjalnych strat powodziowych i ich wizualizacji.

Na wstępie, na potrzeby analizy form pokrycia i zagospodarowania terenów zalewowych została opracowana, częściowo w oparciu o podział na klasy zastosowany w Bazie Danych Obiektów Topograficznych (BDOT), klasyfikacja złożona łącznie z czterech hierarchicznych poziomów. Trzy pierwsze opisują formy pokrycia terenu, a ostatni, najbardziej szczegółowy – poziom 3 – formy zagospodarowania terenu (tab. 1).

Danymi wejściowymi do analizy pokrycia i zagospodarowania terenów zalewowych były dane rastrowe w formie zdjęć lotniczych, wykonanych w 1996 roku, w ramach programu PHARE oraz ortofotomapy z 2007 roku, opracowane na podstawie zdjęć wykonanych w ramach programu LPIS. Ważnym źródłem do precyzyjnego określenia form zagospodarowania terenu były również dane pochodzące z BDOT oraz rastrowe mapy topograficzne z lat dziewięćdziesiątych XX wieku w skali 1:10 000.

Na podstawie klasyfikacji zagospodarowania terenu, umieszczonej w tabeli 1, wykorzystując narzędzia edycyjne i topologiczne GIS, przeprowadzono manualną fotointerpretację ww. zobrazowań lotniczych i ortofotomap dla 1996 i 2007 roku, w celu określenia struktury i stopnia zagospodarowania obszarów zalewowych w Policach i Gryfinie. Wektoryzację przeprowadzono zachowując powierzchnie minimalnego wydzielenia na poziomie 40 m².

¹ Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku Prawo Wodne (Dz.U. z 2001 Nr 239, poz. 2019 z późn. zm.). W 2012 roku, w wyniku implementacji legislacyjnej Dyrektywy Powodziowej w Polsce, znowelizowano Prawo Wodne i „dawne” obszary bezpośredniego zagrożenia powodzią obecnie noszą nazwę obszarów szczególnego zagrożenia powodzią. Przeszła obowiązywać prawna nazwa „obszarów potencjalnego zagrożenia powodzią”.

Tabela 1. Klasyfikacja form pokrycia i zagospodarowania terenu

Poziom 0	Poziom 1	Poziom 2	Poziom 3
Tereny niezurbanizowane	Tereny wód	Tereny wód	Tereny wód płynących
			Tereny wód stojących
	Tereny leśne, zadrzewione i zakrzewione	Tereny leśne, zadrzewione i zakrzewione	Tereny leśne
			Tereny zadrzewione i roślinności krzewiastej
	Tereny rolnicze	Tereny upraw rolnych	Łąki i pastwiska
			Grunty orne
	Tereny upraw trwałych	Sady	
Tereny zurbanizowane	Tereny semizainwestowane	Tereny niezabudowane zurbanizowane	Tereny trawiaste
			Place utwardzone i nieutwardzone
		Tereny rekreacyjne i wypoczynkowe	Zieleń urządzone (parki, skwery)
			Cmentarze
			Ogródki działkowe
			Place sportowe
	Tereny zainwestowane	Tereny komunikacyjne	Tereny komunikacji kołowej (drogi)
			Tereny komunikacji szynowej (kolej)
		Tereny zabudowy	Tereny zabudowy mieszkaniowej
			Tereny zabudowy usługowej i handlowej
			Tereny zabudowy biurowej
			Tereny zabudowy nauki i opieki społecznej
			Tereny zabudowy sakralnej
			Tereny zabudowy przemysłowej
			Tereny zabudowy transportu
			Tereny zabudowy gospodarczej
Tereny zabudowy infrastruktury technicznej			

Źródło: opracowanie własne na podstawie BDOT.

Analiza została przeprowadzona przy użyciu metody rekonstrukcji kartograficznej oraz metody retrogresywnej.

Metoda rekonstrukcji kartograficznej polega na kompleksowym odtworzeniu badanego obszaru, zaś metoda retrogresywna – na przechodzeniu od materiałów najnowszych do coraz starszych (Koter, 1969). Wyniki analizy zostały wykorzystane do opracowania map chorochromatycznych, przedstawiających stopień zagospodarowania obszarów zalewowych, oraz kartogramów prezentujących zestandaryzowane, potencjalne straty powodziowe w 1996 i 2007 roku. Stanowiły one jednocześnie dane wejściowe do analizy zmian potencjalnych strat powodziowych.

Szacowanie potencjalnych strat powodziowych przeprowadzono w oparciu o metodę określoną w Rozporządzeniu Ministra Środowiska, Transportu, Budownictwa i Gospodarki

Morskiej, Administracji i Cyfryzacji oraz Spraw Wewnętrznych z dnia 21 grudnia 2012 r. w sprawie opracowania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego, zwanym w dalszej części pracy rozporządzeniem. Metodę tę opracowano na potrzeby sporządzenia w kraju map ryzyka powodziowego na podstawie metod powszechnie stosowanych w Europie, zgodnie z którymi wysokość strat powodziowych uzależniona jest od form użytkowania terenu i głębokości zalewu.

Jest to metoda mało skomplikowana i prosta w powszechnym stosowaniu. Cechuje się wysokim stopniem generalizacji i wymaga niewielu danych wejściowych – dużo z nich jest już podana. Za jej pomocą można więc w łatwy sposób przedstawić możliwości wykorzystywania GIS w szacowaniu strat powodziowych. Ponadto, sam ustawodawca opisując tę metodę podkreśla, że do celów oceny ryzyka powodziowego winno wykorzystywać się GIS.

W związku z powyższym, w rozporządzeniu poszczególnym klasom użytkowania terenu przypisano określone wartości majątku², przy czym w przypadku terenów mieszkaniowych, przemysłowych i komunikacyjnych dodatkowo oszacowano wartość funkcji strat wiążącej głębokość wody z utratą wartości majątku w danej klasie użytkowania terenu. Ze względu na zgeneralizowane w rozporządzeniu klasy użytkowania terenu, w niniejszej pracy konieczne było zgeneralizowanie umieszczonych w tabeli 1 form zagospodarowania terenu i pogrupowanie ich w osiem klas. Z uwagi na brak numerycznego modelu terenu (NMT) i niemożność określenia głębokości zalewu, przyjęto że wartości funkcji strat dla poszczególnych klas użytkowania odpowiadają średnim arytmetycznym wartościom funkcji strat wyznaczonych w rozporządzeniu (tab. 2).

Tabela 2. Wartości funkcji strat powodziowych

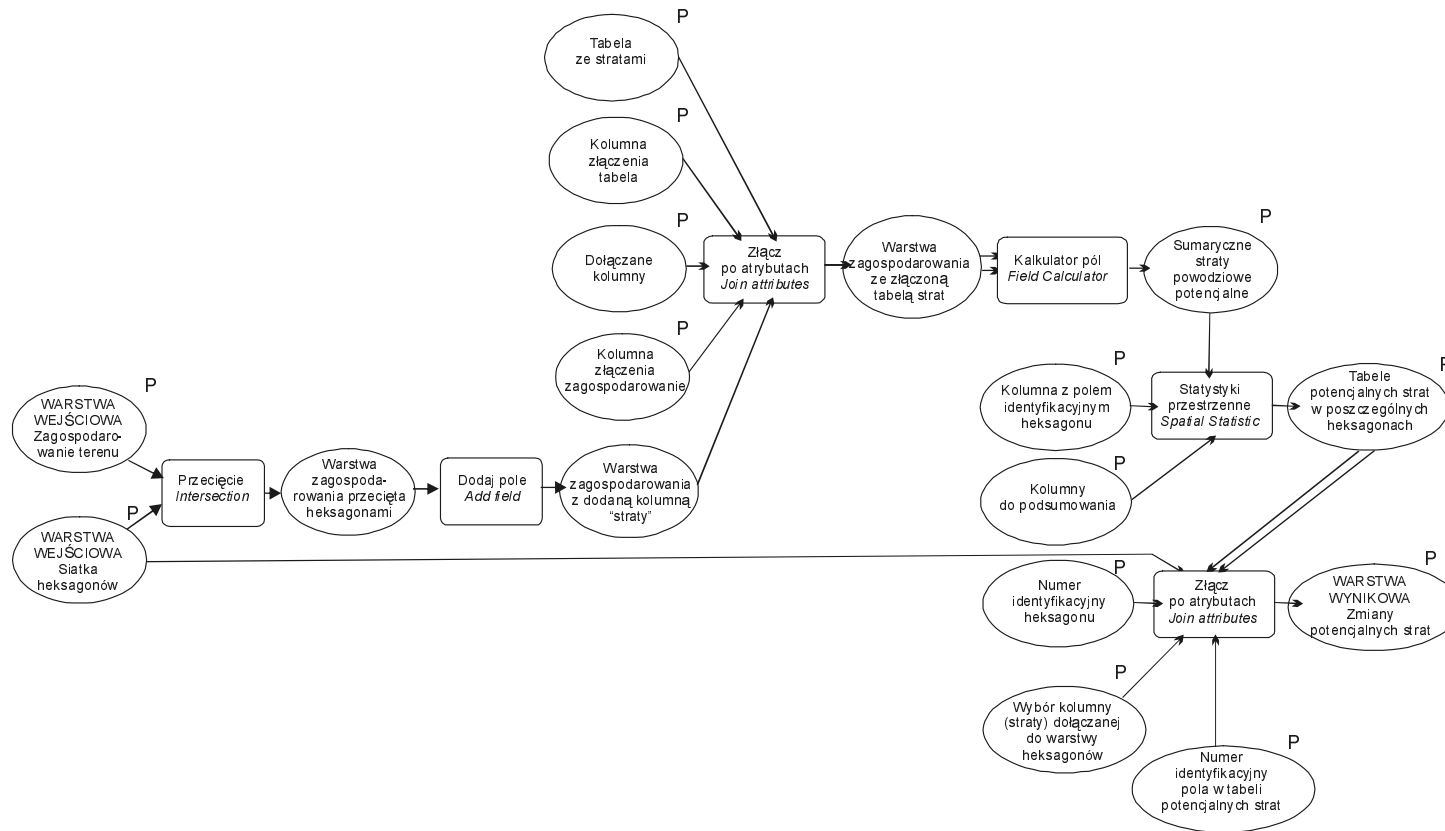
Głębokość wody h [m]	Wartość funkcji strat $f(h)$ [%]		
	Tereny mieszkaniowe	Tereny przemysłowe	Tereny komunikacji
$\leq 0,5$	20	20	5
$0,5 < h \leq 2$	35	40	10
$2 < h \leq 4$	60	60	10
> 4	95	80	10
Średnia	53	50	9

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Rozporządzenie, 2012).

Według rozporządzenia wartość potencjalnych strat jednostkowych w poszczególnych klasach użytkowania terenu (Sp_{ij}), oblicza się wykorzystując algorytm iloczynu wartości majątku w danej klasie użytkowania i funkcji strat określającej stopień utraty majątku w zależności od głębokości zalewu. Sumaryczne wartości potencjalnych strat powodziowych (Sp) określa się natomiast jako iloczyn potencjalnych strat jednostkowych i powierzchni zajmowanej przez daną klasę użytkowania terenu.

Powyższą metodę szacowania potencjalnych strat powodziowych określoną w rozporządzeniu wprowadzono następnie do GIS, wykorzystując między innymi moduł *Model Builder* programu ArcMap 10.1 (rys. 1). Podstawą wykonania przestrzennych analiz porównawczych w ujęciu dynamicznym jest zastosowanie jednakowych pól odniesienia. W niniejszym badaniu zastosowano pola podstawowe w kształcie heksagonu o powierzchni 0,5 ha. Zastosowanie heksagonów jako pól podstawowych występuje powszechnie w badaniach

² Wartości majątku wynoszą na terenach mieszkaniowych 309,83 zł/m² i przemysłowych 326,21 zł/m² w woj. zachodniopomorskim, na terenach komunikacyjnych 436 zł/m², lasów 80 zł/ha, rekreacyjno-wypoczynkowych 5,1 zł/m², gruntach ornych 1428 zł/ha i użytkach zielonych 674 zł/ha w Polsce (Rozporządzenie, 2012).



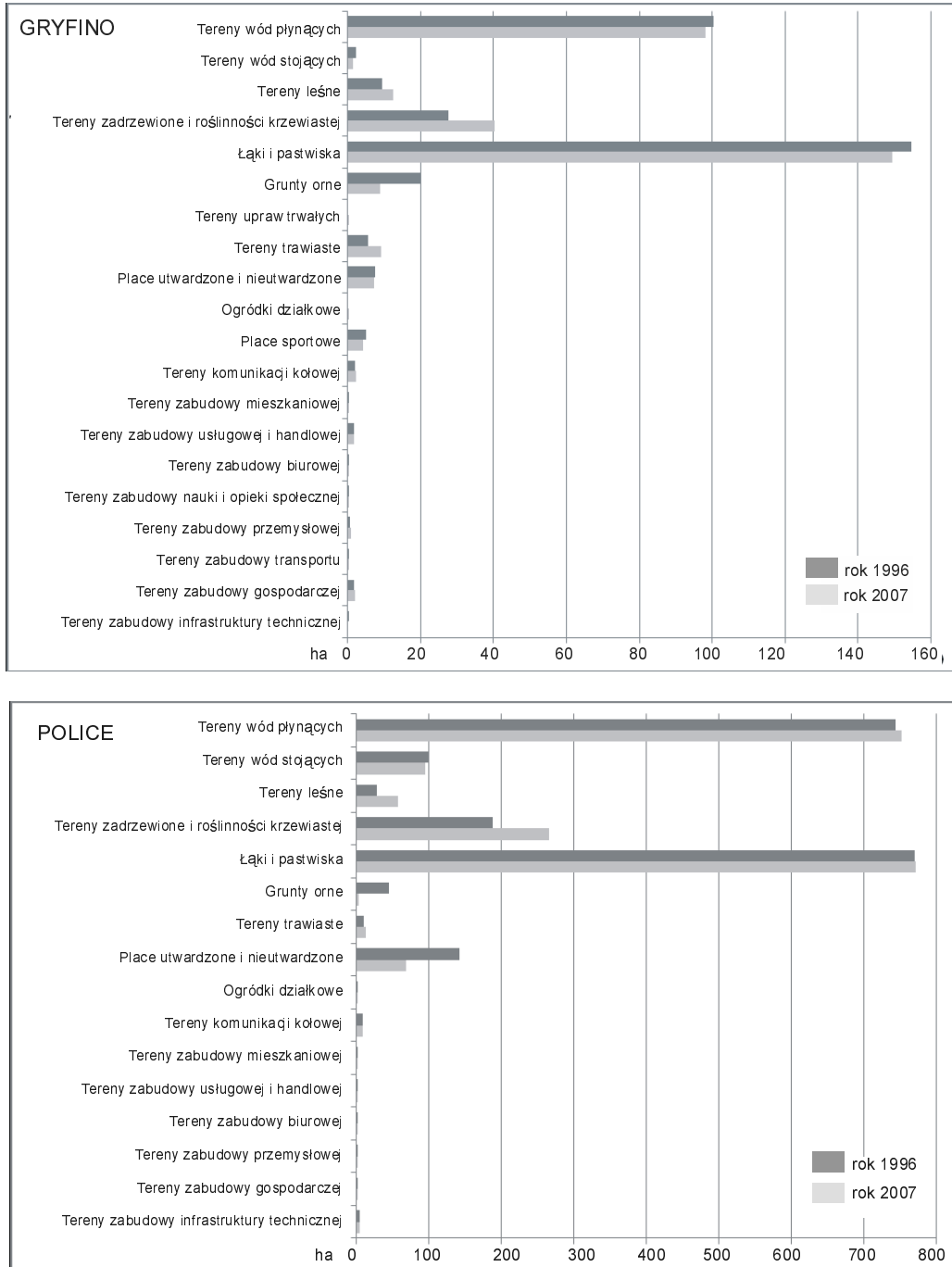
Rys. 1. Schemat (model) szacowania zmian potencjalnych strat powodziowych w *Model Bilder*

społeczno-ekonomicznych. Przyczynia się do tego stosunek powierzchni do obwodu heksagonu, który jest najmniejszy spośród popularnych pól podstawowych, tj. siatki kwadratów, trójkątów, prostokątów (Parysek, 1982). Jego uśredniona odległość krawędzi od środka geometrycznego jest mniejsza o ok. 2,9%, w porównaniu do siatki kwadratów o tej samej powierzchni (Bircha et al., 2007). Wykorzystanie pola podstawowego tego typu pozwala więc zwiększyć dokładność analizy i prowadzi do lepszej jej wizualizacji. Szczególnie dobrze oddaje ona charakter zjawiska przestrzennego, którego kształt jest silnie zróżnicowany (Bircha et al., 2007).

Opracowany przy użyciu modułu *Model Builder* programu ArcMap schemat postępowania ma charakter sekwencyjny i pozwala zautomatyzować znaczną część pracy badawczej (rys. 1). Wygenerowaną za pomocą narzędzia *Genhexagonsinpolys* aplikacji *Geospatial Modeling Environment* siatkę heksagonów wykorzystano jako obiekt przecinający poszczególne formy zagospodarowania terenu (narzędzie *Intersect*). Do wygenerowanej w ten sposób warstwy zawierającej informacje o formach zagospodarowania terenu oraz ich powierzchni, dołączono tabelę z obliczonymi potencjalnymi stratami jednostkowymi poszczególnych form zagospodarowania terenu, określonymi w przeliczeniu na 1 ha (Sp_{ij}). Następnie obliczone zostały wartości sumaryczne potencjalnych strat powodziowych dla każdego heksagonu (Sp_j). Wykorzystane zostało do tego narzędzie *Spatial Statistics* programu ArcMap. Wygenerowaną w ten sposób tabelę wynikową dołączono do pierwotnej warstwy heksagonów (pól podstawowych). W rezultacie utworzono mapę przedstawiającą wysokości potencjalnych strat powodziowych w ujęciu statycznym, oddzielnie dla 1996 i 2007 roku. Aby oszacować wysokości potencjalnych strat powodziowych i przeanalizować ich przestrzenny rozkład, porównano wartości strat w odpowiadających sobie polach podstawowych z 1996 i 2007 roku. Efektem końcowym analizy jest kartogram przedstawiający zmiany potencjalnych strat powodziowych wyrażone w wartościach pieniężnych.

Wyniki

Obszary zagrożone powodzią w Policach zajmują ponad 2000 ha, podczas gdy w Gryfinie – niespełna 400 ha. Jednak relatywizując zasięg zalewu do powierzchni miasta, to ponad 8% powierzchni miasta Police jest zagrożone powodzią, a w Gryfinie, o wiele mniejszym mieście – ponad 40%. Obszary zagrożone powodzią w analizowanych miastach obejmują głównie łąki i pastwiska (rys. 2). Wysoki udział stanowią także tereny zadrzewione i zakrzewione. Struktura zagospodarowania obszarów zalewowych różnicuje się w przypadku terenów zurbanizowanych, niezabudowanych. W Gryfinie bowiem przeważają tereny trawiaste, rozumiane jako powierzchnie biologicznie czynne działek budowlanych, natomiast w Policach – place utwardzone i nieutwardzone, rozumiane jako obszary składowisk, parkingów i place budowy. W Policach zagrożone powodzią jest rozległe składowisko odpadów przemysłowych (fosfogipsu) Grupy Azotowej Police, stanowiące jednocześnie bardzo duże niebezpieczeństwo ekologiczne w czasie powodzi. Zarówno w Policach, jak i w Gryfinie obszary zalewowe nie pełnią funkcji terenów rekreacyjnych. Ogródki działkowe i place sportowe zajmują śladową powierzchnię, nie istnieją również bulwary, parki oraz cmentarze. Obszary zabudowy zajmują nieznacznie większą powierzchnię w Policach, niż w Gryfinie. W Policach są to głównie budynki infrastruktury technicznej, gospodarcze i przemysłowe, stanowiące elementy portu nadrzecznego. Ponadto w Policach, obszar zagrożony powodzią



Rys. 2. Struktura i zmiany zagospodarowania obszarów zalewowych w latach 1996-2007

bezpośrednio graniczy z terenami oczyszczalni ścieków, nie obejmuje jednak centralnej części miasta o zabudowie śródmiejskiej. Bardziej zróżnicowana jest natomiast zabudowa w Gryfinie, z uwagi na to, że zagrożona powodzią jest zachodniocentralna część miasta (rys. 3). Budynki gospodarcze, usługowo-handlowe, transportu i mieszkaniowe stanowią tu ok. 1,4% ogółu terenów zalewowych miasta.

Głównym kierunkiem zmian w zagospodarowaniu obszarów zalewowych w badanych miastach jest rozwój urbanizacji, przy czym w Gryfinie jest on silniejszy. Rozwój zainwestowania na obszarach zalewowych w Gryfinie przejawia się przyrostem terenów zabudowy mieszkaniowej, przemysłowej, transportowej oraz gospodarczej, jak również obszarów trawiastych oraz dróg, na terenach dotychczas otwartych, tj.: łąk, pastwisk i gruntów ornych. Zanotowano także przyrost terenów zalesionych i zakrzewionych (rys. 2). Większość zmian w zagospodarowaniu obszarów zalewowych w Gryfinie miało miejsce na wolnych terenach położonych w północnej i południowej części zalewu (rys. 3).

W Policach natomiast, zaobserwowano sytuację odwrotną, tzn. rozwój obszarów naturalnych na terenach semizainwestowanych, głównie przez proces rekultywacji składowiska odpadów przemysłowych w kierunku leśnym. Dlatego w Policach, dwukrotnie wzrosła powierzchnia obszarów leśnych i półtorakrotnie terenów zakrzewionych i roślinności krzewiastej, głównie na terenach dawnych placów utwardzonych i nieutwardzonych. Zaobserwowano również spadek powierzchni terenów zabudowy mieszkaniowej. Jednocześnie zaobserwowano ekspansję składowiska odpadów w kierunku północnym na obszary dotychczasowych łąk nadrzecznych. W Policach, największe zmiany w zagospodarowaniu terenu zaszły w północnej i południowej części miasta. Mimo, iż Gryfino cechuje się wyższym stopniem zagospodarowania obszarów zalewowych, to Police, z racji większej powierzchni obszarów zalewowych, wykazują wyższe potencjalne straty powodziowe (tab. 3).

Tabela 3. Wysokość potencjalnych strat powodziowych w latach 1996-2007 wg stref zagrożenia powodziowego (w mln zł)

	Rok					
	1996	2007	1996	2007	1996	2007
	Strefa zagrożenia					
	bezpośredniego		potencjalnego		ogółem	
Gryfino	20,49	18,15	15,18	22,9	30,15	36,2
Police	92,36	67,1	215,87	110,9	262,11	145,3

W ujęciu dynamicznym natomiast, w Policach można zaobserwować spadek potencjalnych strat, spowodowany głównie rekultywacją składowiska odpadów przemysłowych. Zasadniczo jednak na większości obszaru zalewowego Polic nie zaobserwowano zmian wysokości strat powodziowych (zachowanie terenów rolniczych), których wzrost odnotowano jedynie w północnej części składowiska odpadów i na terenach sąsiadujących z zabudową, a spadek – na rekultywowanej części składowiska. W Gryfinie natomiast, zaobserwowano wzrost potencjalnych strat powodziowych wywołany wzrostem stopnia zainwestowania na obszarach zalewowych (rys. 4).

Zmiany wysokości potencjalnych strat powodziowych wykazują duże zróżnicowanie (pod względem swojej rozpiętości liczbowej), a ich rozkład jest silnie asymetryczny w kierunku lewostronnym. Oznacza to, że w badanych miastach zaszło niewiele znacznych (dużych pod

względem rozpiętości) zmian w wysokości strat oraz dużo zmian małych. W związku z tym dla wizualizacji wyników przyjęto zróżnicowane przedziały wartości dla zmian potencjalnych strat, odzwierciedlające charakter (rozpiętość) zaobserwowanych zmian (rys. 4).

Dyskusja

Narzędzia GIS w niniejszym badaniu ułatwiły integrację danych o zagospodarowaniu terenu oraz wartości zagrożonego majątku. Określona w polskim ustawodawstwie metoda szacowania potencjalnych strat powodziowych, wiążąca dla map ryzyka powodziowego w kraju, bazuje na funkcji strat o charakterze relatywnym, określając dla terenów mieszkaniowych, przemysłowych i komunikacji udział procentowy ubytku na wartości w zależności od głębokości zalewu. Dlatego interpretując otrzymane wyniki należy pamiętać, że w analizie przyjęto, z uwagi na brak danych o głębokości zalewu, uśredniony poziom utraty wartości majątku. W związku z tym, otrzymane wyniki mogą nie w pełni odzwierciedlać realne wysokości strat wywołanych powodzią. Pozwalają jednak w pełni na określenie kierunków zmian poziomu strat w oparciu o zmiany w zagospodarowaniu obszarów zagrożonych powodzią. W tym przypadku, głębokość zalewu nie ma znaczenia, ponieważ podstawą wzrostu bądź spadku wysokości potencjalnych strat powodziowych jest zmiana użytkowania terenu. Na rzetelność otrzymanych wyników dotyczących kierunków zmian poziomu strat powodziowych wpływać może jednak rozdzielczość przestrzenna danych wejściowych o zagospodarowaniu i użytkowaniu terenu. W niniejszym badaniu, wektoryzację form zagospodarowania terenu wykonano, zachowując wysoki stopień szczegółowości (powierzchnię minimalnego wydzielenia na poziomie 40 m²). Można zatem stwierdzić, że klasyfikację wykonano dokładnie, wyróżniając łącznie aż 24 klasy użytkowania terenu. Jednak ze względu na przyjętą metodologię oceny strat, zaistniała konieczność generalizacji form zagospodarowania do 8 klas. Przedstawione wyniki analiz są bowiem elementem większego projektu badawczego, w którym docelowo konieczna była identyfikacja zagospodarowania terenu na wysokim stopniu szczegółowości. Sama generalizacja nie wpłynęła jednak destrukcyjnie na jakość prezentowanych w artykule wyników, ponieważ geometria obiektów nie uległa zmianom. Wątpliwość może jedynie budzić zaklasyfikowanie danego elementu niższego rzędu do grupy wyższego rzędu.

Przeprowadzone na potrzeby niniejszego artykułu badania wykazały dwa przeciwstawne kierunki zagospodarowywania terenów zagrożonych powodzią, skutkujące wzrostem bądź spadkiem potencjalnych strat powodziowych. Wzrost intensyfikacji zabudowy zaobserwowany w Gryfinie potwierdza powszechnie zachodzący na świecie proces urbanizacji obszarów zalewowych i wzrostu ryzyka powodziowego, o którym piszą między innymi: de Moel et al. (2011), Ristic et al. (2012), Istomina et al. (2005), Harvey et al. (2009), Luino et al. (2012). Z kolei spadek zainwestowania w Policach i w konsekwencji potencjalnych szkód powodziowych jest rzadko spotykanym zjawiskiem na obszarach miejskich, które zasługują na naśladowanie.

Wnioski

W niniejszym badaniu, GIS wykorzystano do oceny potencjalnych strat powodziowych, bazując na analizie zmian użytkowania obszarów zalewowych. Zastosowana metoda szacowania strat powodziowych przedstawia podstawowe możliwości stosowania narzędzi GIS w ocenie strat powstałych w wyniku powodzi.

Po pierwsze, GIS w niniejszym badaniu posłużył do integracji danych przestrzennych, tj. o zagospodarowaniu terenu i zasięgu zalewu, z danymi atrybutowymi, czyli wartościami zagrożonego majątku.

Po drugie, GIS umożliwia tworzenie nowych narzędzi lub też formułowanie schematów postępowania z narzędzi już istniejących. Zastosowany w niniejszym badaniu model, opracowany w module *Model Builder*, usprawnia prace badawcze i zabezpiecza przed popełnieniem „ludzkich błędów” podczas przetwarzania informacji źródłowych. Dodatkową zaletą opracowanych modeli jest ich uniwersalny charakter oraz możliwość zastosowania w badaniach różnych zjawisk, jak również możliwość ponownego wykorzystania do badań na innych obiektach. Należy jednak pamiętać, że całkowite zautomatyzowanie procesu analitycznego pozbawia badacza możliwości prowadzenia pełnej kontroli nad poszczególnymi etapami postępowania. W konsekwencji, trudniej jest wychwycić błędy oraz inne nieprawidłowości. Zatem system informacji geograficznej należy stosować rozważnie i najlepiej otrzymane wyniki analizy poddać dodatkowej weryfikacji.

Po trzecie, wykorzystując GIS można wykonywać różnorodne obliczenia, na przykład obliczyć wysokość potencjalnych strat powodziowych w kategoriach pieniężnych.

Pod czwarte, narzędzia GIS pozwalają również na czytelną wizualizację wysokości potencjalnych strat powodziowych, zarówno w ujęciu przestrzennym jak również dynamicznym. Dostępna w GIS siatka pól podstawowych posłużyła w niniejszym badaniu do przedstawienia rozkładu przestrzennego zaobserwowanych zmian wysokości potencjalnych strat powodziowych.

Literatura

- Aubrecht C., Kostl M., Steinnocher K., 2008: Functional object grouping – an advanced method for integrated spatial and space related data mining Digital Earth Summit on Geoinformatics. [In:] Ehlers M., Behncke K., Gerstengarbe F.W., Hillen F., Koppers L., Stroink L., Wachter J. (eds.), Tools for Global Change Research. Herbert Wichmann, Heidelberg.
- Aubrecht C., Kostl M., Knoflacher M., Steinnocher K., 2009: The importance of active public communication – settlement systems and land use patterns seen from a disaster perspective REAL CORP 2009. [In:] Schrenk M., Popovich V., Engelke D., Elisei P. (eds.), 14th Int. Conf. on Urban Planning, Regional Development and Information Society-Strategies, Concepts and Technologies For Planning the Urban Futurem.
- Aubrecht C., Steinnocher K., Köstl M., 2011: Regional flood impact assessment based on local land use patterns and sample damage records. *Environ. Res. Lett.* 6, 7.
- Behnen T., 2000: Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg und seine sozioökonomischen Folgen: Eine Untersuchung der Ursachen, methodischen Ansätze und Konsequenzen unter besonderer Berücksichtigung Deutschland, *Hannoversche Geographische Arbeiten*: Band 54.
- Bircha C.P.D., Oomb S.P., Beecham J.A., 2007: Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling* 206.
- Buczek A., Nachlik E., 2011: Wykorzystanie BDOT w ocenie ryzyka powodziowego – problem integracji informacji przestrzennej. *Roczniki Geomatyki* t. 9, z. 6(50), PTIP Warszawa.
- Čihák F., Fosumpaur P., Satrapa L., 2005: Methodology for the evaluation of flood defence measures proposed for II. stage of the „Flood prevention” program.

- De Roo A., Kucera J., Bonk R., Barredo J.I., Bodis K., Szabo J., Thielen J., 2006: Flood extent and damage estimation in Hungary during the floods in spring 2006. Report EUR 22712 EN, Ispra: Joint Research Centre, Institute for the Environment and Sustainability.
- DEFRA (Department For The Environment, Food and Rural Affairs), 1999: Flood and Coastal Defence Project Appraisal Guidance, Part 3: Economic Appraisal.
- Drożdżał E., Grabowski M., Kondziolka K., Olbracht J., Piórecki M., Radoń R., Rylko R., 2009: Mapy ryzyka powodziowego – projekt pilotażowy w zlewni Silnicy. *Gospodarka Wodna* 2009/1.
- Dutta D., Herath S., 2001: GIS based flood loss estimation modeling in Japan. 1st Workshop of US-Japan Cooperative Research for Urban Earthquake Disaster Mitigation. Kobe.
- Ebenhöh W., Sterr H., Simmering F., 1997: Potentielle Gefährdung und Vulnerabilität der deutschen Nord- und Ostseeküste bei fortschreitendem Klimawandel, Case Study in Anlehnung an die Common Methodology der IPCC Coastal Zone Management Subgroup.
- Eckes K., 2010: Analizy przestrzenne w czasie rzeczywistym dla wspomagania akcji ratowniczych na terenach dotkniętych powodzią. *Roczniki Geomatyki* t. 8, z. 6(42), PTIP Warszawa.
- Green C.H., 2003: Evaluating vulnerability and resilience in flood management. [In:] Van Der Veen A., Arellano A.L.V., Nordvik J.P. (eds.), In Search of a Common Methodology on Damage Estimation, EUR 20997 EN, Ispra: European Commission.
- Guzzetti F., Stark C., Salvati P., 2005: Evaluation of Flood and Landslide Risk to the Population of Italy. *Environmental Management* 36, 1.
- Gykień S., Szmytkie R., 2008: Społeczny i ekonomiczny wymiar powodzi we Wrocławiu w 1997 roku. Uniwersytet Wrocławski, Wrocław.
- Halcrow/Vituki/Fhrc/External/Fomi/Mta/Koros Valley District Water Authority. 1999: Hungary flood control development and rehabilitation project, Final report, Budapest: Vituki Consult.
- IKSR (International Commission for the Protection of the Rhine), 2001: Übersichtskarten der Überschwemmungsgefährdung und der möglichen Vermögensschäden am Rhein. Abschlußbericht: Vorgehensweise zur Ermittlung der hochwassergefährdeten Flächen, Vorgehensweise zur Ermittlung der möglichen Vermögensschäden.
- Jermaczek A., Misztal K., Wasiak P., 2008: Przyczyny i skutki powodzi na Dolnym Śląsku – propozycje ekologicznych działań przeciwpowodziowych. Wydawnictwo Klubu Przyrodników w Świebodzinie. Gorzów Wlkp.
- Kang J.-L., Su M.-D., Chang L.-F., 2005: Loss functions and framework for regional flood damage estimation in residential area. *Journal of Marine Science and Technology* 13.
- Klaus J., Schmidtke R.F., 1990: Bewertungsgutachten für Deichbauvorhaben an der Festlandsküste – Modellgebiet Wesermarsch, Untersuchungsbericht an den Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Kok M., Huizinga H.J., Vrouwenfelder A.C.W.M., Barendregt A., 2004: Standard Method 2004. Damage and Casualties caused by Flooding. Client: Highway and Hydraulic Engineering Department.
- Koter M., 1969: Geneza układu przestrzennego Łodzi przemysłowej. *Prace Instytutu Geografii PAN* 79.
- Lerner L.A., 2007: Assessing global exposure to natural hazards: Progress and future trends, *Environmental Hazards* 7.
- Merz B., Kreibich H., Thielen A., Schmidtke R., 2004: Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards Earth System Sciences* 4.
- Messner F., Meyer V., 2005: Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research, UFZ Discussion Papers, Department of Economics, 13/2005.
- Meyer V., Messner F., 2007: Guidelines for direct, tangible flood damage evaluation. [In:] Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. Report No. T09-06-01, FLOODsite.
- MURL (Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.), 2000: Hochwasserschadenspotentiale am Rhein in Nordrhein-Westfalen, Abschlussbericht.
- Parysek J.J., 1982: Modele klasyfikacji w geografii. Seria Geografia nr 31, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu.
- Penning-Rowse E.C., Johnson C., Tunstall S., Tapsell S., Morris J., Chatterton J., Coker A., Green C., 2003: The Benefits of flood and coastal defence: techniques and data for 2003. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University.

- Pielke R.A. Jr., Downton M.W., Barnard Miller J.Z., 2002: Flood Damage in the United States, 1926–2000: A Reanalysis of National Weather Service Estimates, Boulder, CO: UCAR.
- Reese S., 2003: Die Vulnerabilität des schleswig-holsteinischen Küstenraumes durch Sturmfluten. Fallstudien von der Nord- und Ostseeküste, Berichte aus dem Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Universität Kiel, Bd. 30. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Ristic R., Kostadinov S., Abolmasov B., Dragicevic S., Trivan G., Radic B., Trifunovic M., Radosavljevic Z., 2012: Torrential floods and town and country planning in Serbia. *Natural Hazards Earth System Sciences* 12.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska, Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Administracji i Cyfryzacji oraz Spraw Wewnętrznych z dnia 21 grudnia 2012 r. w sprawie opracowania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego. Dz.U. 2013 nr 0 poz. 104.
- Satrapa L., Fosumpaur P., Horsky M., 2005: Methods of flood damage evaluation, MS-PowerPoint Presentation.
- Schmidt T.P., Greiving S., Kallio H., Fleischhauer M., Jarva J., 2006: Economic risk maps of floods and earthquakes for European regions. *Quaternary International* 150.
- Smith K., Ward R., 1998: Floods Physical Processes and Human Impacts. Chichester.
- Sowiński M., 2008: Szkody powodziowe jako element wyznaczania ryzyka. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 7, PAN Kraków.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku Prawo Wodne. Dz.U. 2001 nr 239 poz. 2019 z późn. zm.
- Wołoszyn E., 2006: Oddziaływanie powodzi na środowisko [W:] Bednarczy S., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E., Vademecum ochrony przeciwpowodziowej. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Gdańsk.

Abstract

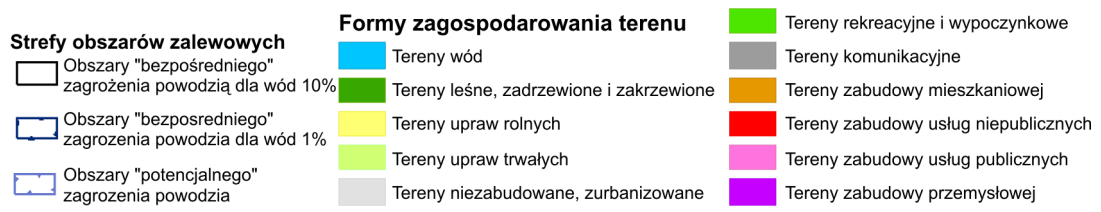
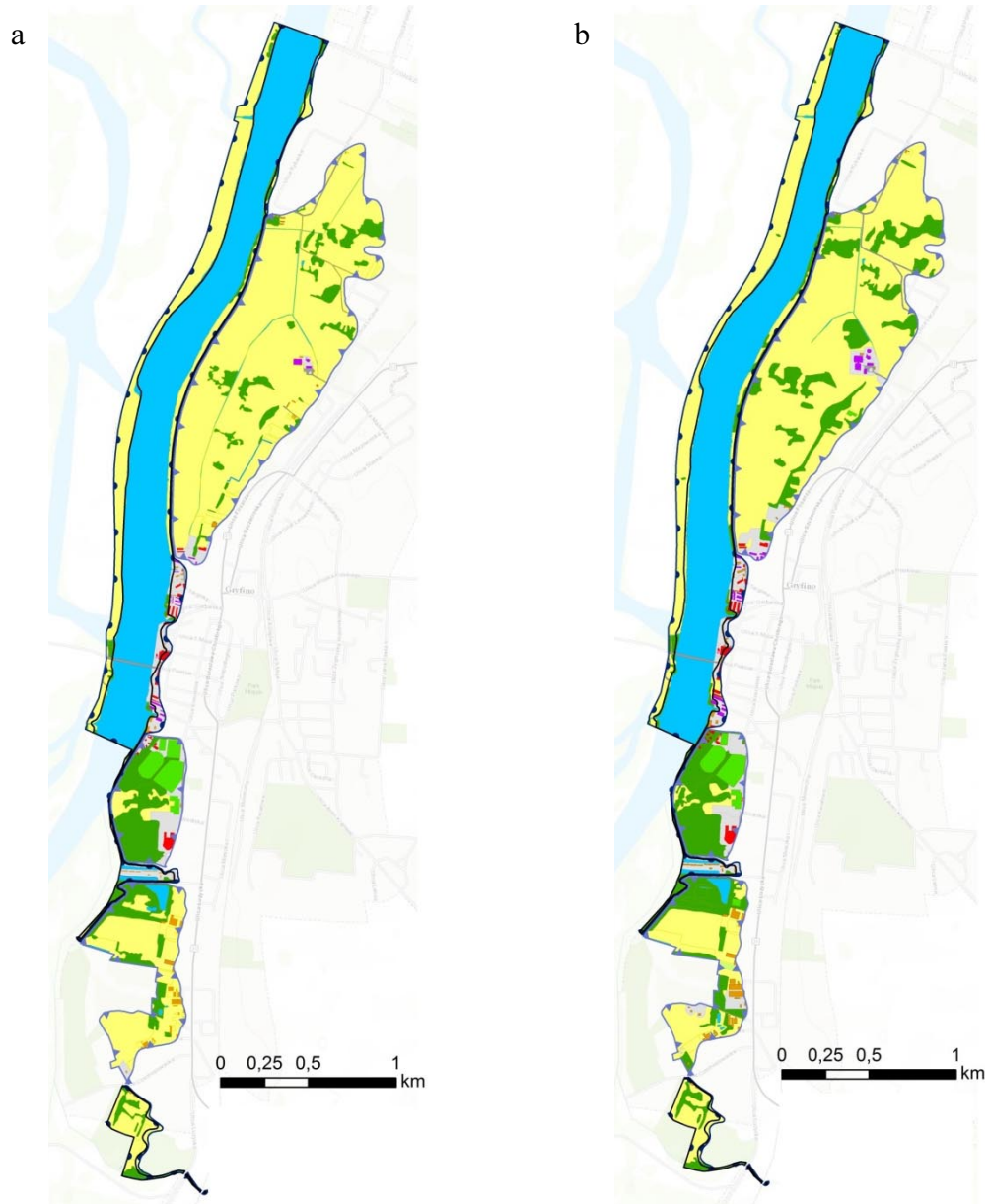
The occurrence of floods causes a number of economic, social and ecological losses. The estimation of potential flood losses, in this case concerning material losses, is a part of the flood risk assessment which, in turn, depicts economic consequences of flooding.

Every flood takes place in the geographical space, which can be represented using the Geographic Information System (GIS) spatial data modeling. Therefore, it is worth considering how useful and supportive are GIS methods and techniques in reducing negative consequences of such phenomena. As a hypothesis it can be assumed that GIS methods may be used in the estimation of potential flood losses. The aim of this paper is to present capabilities of GIS tools in potential flood losses assessment in Poland. In this study, two Polish cities located on the Oder River were taken into consideration: Gryfino and Police. In both cities, changes in potential flood losses were determined based on the land use forms in the floodplain areas. Those comparative analyses were carried out in the years 1996 and 2007.

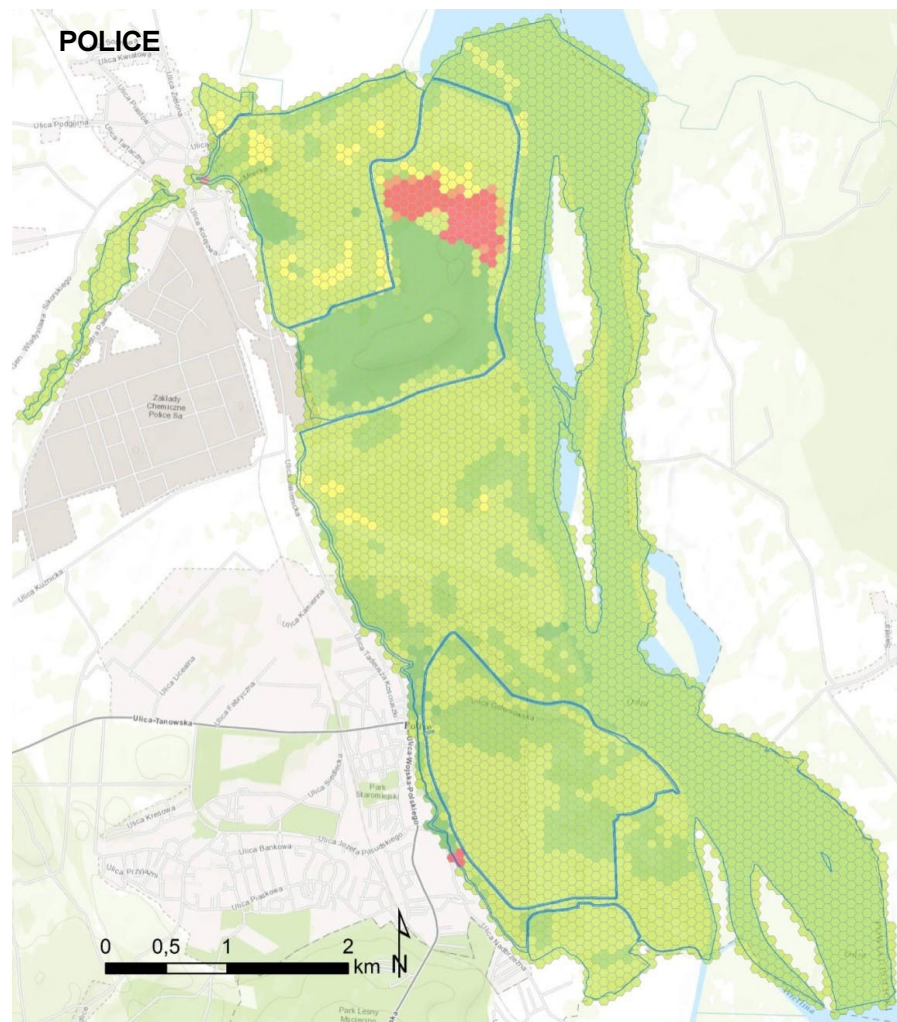
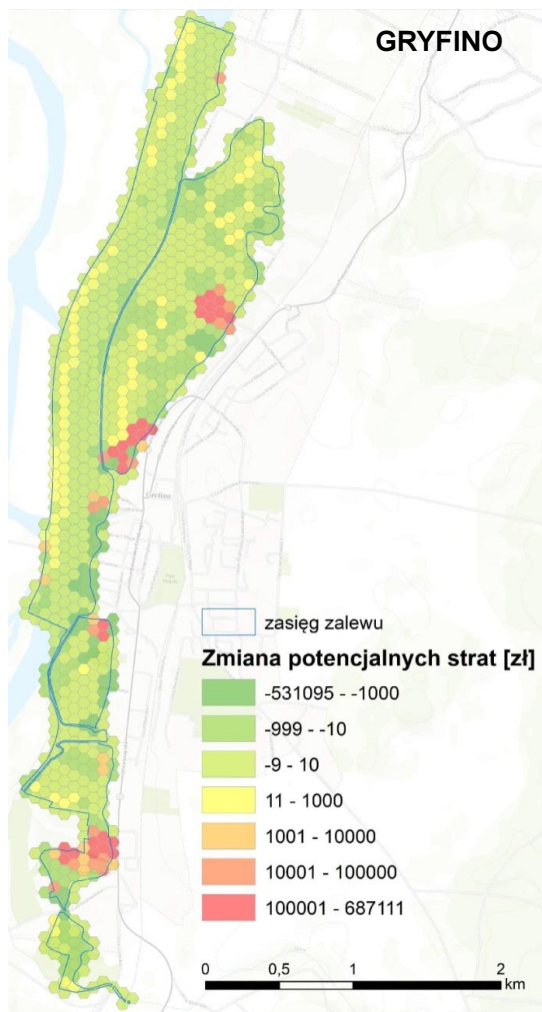
In order to evaluate flood losses, a procedure specified in the Polish law and concerning the development of flood risk maps was used. As a result, the basic capabilities of the application of GIS tools in assessing flood losses has been determined. The GIS tools that were found to be crucial for: (1) the spatial data (land use, flood extent) and attributes data (e.g. value of assets at risk) integrity, (2) the work automation and creating new GIS tools, models using such applications as the ArcGIS Model Builder, (3) performing complex calculations on spatial data (4) the data symbolization and visualization using e.g. regular tessellation.

The study showed two different land development patterns of flood-prone areas in the cities on the Oder River between 1996 and 2007. While in Gryfino the increase of potential flood losses was noticed as a consequence of the growth of build-in area, in Police the decrease of the invest area was observed, consequently reducing the flood losses.

mgr Ewa Głosińska
ewaglo@amu.edu.pl



Rys. 3. Mapa zagospodarowania obszarów zalewowych w Gryfinie w latach: a – 1996, b – 2007



Rys. 4. Zmiany wysokości potencjalnych strat powodziowych w miastach Gryfino i Police w latach 1996–2007