

**ANALIZY PRZESTRZENNE
W CZASIE RZECZYWISTYM
DLA WSPOMAGANIA AKCJI RATOWNICZYCH
NA TERENACH DOTKNIĘTYCH POWODZIĄ***

**REAL-TIME GIS ANALYSES FOR SUPPORTING
RESCUE OPERATIONS ON FLOOD DISASTER AREAS**

Konrad Eckes

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Słowa kluczowe: GIS czasu rzeczywistego, analizy w GIS, powódź, mapy dla akcji ratowniczej
Keywords: real-time GIS, analyses in GIS, flood, maps for rescue operations

Wprowadzenie

Powódź jest klęską żywiołową, która w równym stopniu dotyka kraje biedne i kraje bogate. Powodzie w krajach biednych występują najczęściej z braku środków finansowych na racjonalne kształtowanie gospodarki wodnej kraju oraz na infrastrukturę zabezpieczającą przed wylewaniem rzek.

W krajach europejskich osadnictwo miejskie w okresie średniowiecza skupiało się przy rzekach, a później, aż do czasów obecnych, były zagospodarowywane i zabudowywane tereny, które stanowiły wcześniej naturalne rozlewiska wezbranych wód. W wielu krajach wysokie koszty wykupu terenów miejskich uniemożliwiają budowę kanałów ulgi dla wód przepływających przez miasta, jak również blokują zajęcie terenów pozamiejskich pod budowę zbiorników retencyjnych.

Wymienione czynniki sprawiają, że powodzie, pojawiające się co kilka lub co kilkanaście lat, są niestety realnym, częstym faktem w krajach zarówno biednych jak i bogatych. Ten fakt jest dostrzegany w sposób szczególnie wyrazisty bezpośrednio po kolejnych przypadkach wielkich powodzi, powodujących olbrzymie straty.

Ważnym głosem w tej sprawie jest dyrektywa Unii Europejskiej (Dyrektywa, 2007). Przytoczona dyrektywa formułuje zadania w skali strategicznej – na dużych obszarach (Kondziołka (red), 2009), natomiast walka z klęską powodzi prowadzona jest w skali lokalnej miasta lub jego części, w małej miejscowości lub nawet w skali grupy domów (Eckes, 1998).

* Przedstawiona w niniejszym artykule tematyka została opracowana w ramach badań statutowych Katedry Geomatyki AGH nr 11.11.150.006 w roku 2010.

Powódź jako klęska żywiołowa, dokonuje się w przestrzeni geograficznej, która jest odwzorowywana w systemie informacji przestrzennej GIS. Dlatego warto rozważyć, w jakim stopniu opis tej przestrzeni i produkty systemu GIS mogą wspierać działania walki z tą klęską żywiołową.

Podstawową cechą odwzorowania przestrzeni geograficznej w czasie klęski powodzi jest konieczność uwzględniania zmienności sytuacji: w przestrzeni geograficznej pojawia się nowy obiekt – szybko zmienny obszar wody, natomiast obiekty przykryte falą zalewową stają się niewidoczne. Drugą cechą odwzorowania tego zjawiska jest konieczność monitorowania zmian zachodzących w czasie.

System informacji przestrzennej GIS, jako opis przestrzeni geograficznej, powinien tak nadażać w czasie za procesem zmian, aby produkty systemu były aktualne w relacji do zagrożeń i potrzeb akcji ratowniczej.

Istnieje technologia systemu informacji przestrzennej, pracującego w czasie rzeczywistym, zwana *real-time* GIS. Przedmiotem niniejszej pracy jest koncepcja wykonywania analiz w GIS, do budowania map w czasie rzeczywistym – o następującej treści:

- mapy wielkoskalowe, które odpowiadają aktualnym obrazom przestrzeni geograficznej, kiedy jest ona zakryta falą zalewową o określonej głębokości,
- mapy dróg ewakuacji pieszej i kołowej,
- mapy przeszkód podwodnych dla pływającego sprzętu ratowniczego – dla zmiennej głębokości fali powodziowej,
- mapy zagrożenia obiektów budowlanych określające poziomy fali zalewowej, przy których zostaną zalane kondygnacje piwnic, parteru i kolejnych pięter budowli.

Opracowanie tej koncepcji miało na celu budowanie map czasu rzeczywistego, map realistycznych i poglądowych, zrozumiałych dla wszystkich użytkowników oraz zawierających bogate dane praktyczne dla akcji ratowniczej.

Realistyczne mapy terenów zalewowych

Powszechnie stosowane techniki obrazowania przestrzeni geograficznej w wielkiej skali opisują tę przestrzeń w sposób poglądowy w warunkach normalnych (niekryzysowych). W stanie pokrycia terenu nieprzezroczystą falą powodziową – większa część szczegółów terenowych zostaje przykryta wodą i staje się niewidoczna. Nad powierzchnią fali zalewowej widoczny jest inny stan przestrzeni geograficznej niż jest przedstawiony na tradycyjnej standardowej mapie wielkoskalowej. W warunkach akcji ratowniczej nie ma czasu na analizowanie obrazu mapy z urządzeniami podziemnymi i szczegółami terenowymi oraz ustalanie co jest widoczne, a co zakryte. Dla akcji ratowniczej musimy budować obrazy realistyczne, takie jakie w danej chwili kształtuje fala zalewowa, z widocznymi szczegółami terenowymi ponad płytą wody.

Rysunek 1 przedstawia przykładowy fragment tradycyjnej, wielkoskalowej mapy sytuacyjnej. Jeżeli w wyniku dokonanej analizy, której celem było wyznaczenie prognozowanej lub aktualnej warstwiczy zalewu, naniesimy tę warstwicę na mapę – to obraz takiej mapy nie będzie realistycznym obrazem aktualnej sytuacji terenowej:

- wprawdzie został pokazany zasięg fali powodziowej (rys. 1), ale pozostała widoczna sytuacja zalegająca pod powierzchnią nieprzezroczystej wody,
- mapa nie uwzględnia rozróżnienia szczegółów terenowych niewidocznych i widocznych ponad wodą, które w czasie akcji ratowniczej mogą stanowić ważne punkty orientacyjne,

- brakuje opisów głębokości fali zalewowej na trasach komunikacyjnych, które mogłyby wskazywać na możliwość lub wykluczenie potencjalnych dróg ewakuacji,
- obrazy budynków, jako kreskowych konturów przyziemia, nie tworzą w obrazie mapy poglądowych i wyrazistych obiektów terenowych, będących w czasie akcji ratowniczej przedmiotami szczególnej ochrony, a także obiektami orientacyjnymi, widocznymi ponad powierzchnią wody.

Rysunek 2 przedstawia propozycję realistycznej mapy terenu. W wyniku analizy wysokościowej została wyznaczona sytuacja prognozowanej lub aktualnej warstwiczy zalewu. Ponadto dokonano selekcji szczegółów terenowych, których wysokość przewyższa powierzchnię fali zalewowej. Zaproponowana mapa (rys. 2) posiada następujące cechy:

- mapa przedstawia sytuację realistyczną, powierzchnia wody stanowi dominujący obiekt sytuacyjny, barwny rysunek zalewu można modyfikować pod względem przezroczystości, aby w pewnym ograniczonym stopniu była widoczna także sytuacja terenowa przykryta wodą,
- wyselekcjonowane obiekty, przewyższające powierzchnię wody, zostały przedstawione na mapie jako w pełni widoczne, realne szczegóły sytuacyjne (w tym przypadku drzewa), takie obiekty mogą stanowić ważne punkty orientacyjne dla akcji ratowniczej,
- na podstawie analizy wysokościowej zostały wyznaczone głębokości fali zalewowej na trasach komunikacyjnych, które wskazują na możliwość lub brak możliwości ewakuacji pieszej lub kołowej,
- zostały w sposób wyrazisty oznaczone budynki, które, jak już wspomniano, są przedmiotem szczególnej ochrony i zainteresowania akcji ratowniczej.

Alternatywą obrazu wody z wyborem przezroczystości obrazu fali zalewowej (w celu pozostawienia jednak w pewnym stopniu widocznego rysunku sytuacji podwodnej) – mogłyby być warstwicze głębokości zalewu z paletą natężenia barwy obszarów pomiędzy warstwicami. Wprawdzie fala zalewowa, niosąca cząstki gruntu, prawie powszechnie ma odcienie barwy beżowej, w kształtowaniu obrazu mapy (rys.2) zastosowano kolor niebieski – tradycyjnie kojarzony z wodą.

Mapa dopuszczalnych dróg ewakuacji

Z organizacyjnego punktu widzenia w akcji ewakuacyjnej i ratowniczej ważną rolę odgrywają informacje o przejezdności lub zamknięciu dróg ewakuacyjnych. Oznaczone na rysunku 2 głębokości fali zalewowej wzdłuż drogi, sięgające wartości 2 metrów, oczywiście wykluczają tę drogę jako trasę ewakuacji kołowej. Byłoby zatem wskazane, aby dopuszczalne drogi ewakuacyjne mogły być w jakiś szczególny sposób oznaczone.

Projekt oznaczenia dopuszczalnych dróg ewakuacyjnych został przedstawiony na rysunku 3. Wyznaczone głębokości wody wzdłuż trasy nie przekraczają 40 centymetrów i komunikacja wzdłuż ważnego odcinka drogi, łączącego dwie grupy zabudowań, jest w danym momencie czasowym dopuszczalna. Fragment warunkowo przejezdnej drogi, wprawdzie przykryty falą zalewową, został oznaczony kolorem jasnoniebieskim. Rysunek 3 zawiera także dane o stanie budynków dotkniętych klęską powodzi – ta problematyka będzie omówiona w dalszej części artykułu.

Analizy i mapy, jako produkty systemu informacji przestrzennej, mogą być opracowywane na bieżąco – jako ważny składnik akcji ratowniczej. Ale dostarczanie aktualnych map do

mieszkańców i uczestników akcji ratowniczej wymaga czasu, ponieważ jest częstym przypadkiem, że powódź przerywa również wszelką komunikację elektroniczną. W takich przypadkach posiadając mapy nie w pełni aktualne na dany moment czasowy oraz aktualne komunikaty o przyrostach wysokości lub opadaniu wód – można dokonywać przybliżonych ocen dotyczących dalszego korzystania z warunkowo dopuszczonych dróg ewakuacji lub decydować o ich czasowym zamknięciu.

Mapa przeszkód dla akcji ratowniczej prowadzonej za pomocą sprzętu pływającego

W przypadkach gdy akcja ratownicza nie może być prowadzona drogami, ze względu na głębokość fali zalewowej – do akcji musi wkroczyć sprzęt pływający. W terenach miejskich z tradycyjną zabudową, można przypuszczać, że w zalanych kwartałach miasta – w strefach fali zalewowej, znajdującej się nad jezdnią ulic, nie występują przeszkody podwodne. Ale w zasięgu stref chodników mogą być przeszkody widoczne lub podwodne (niewidoczne) takie jak: znaki drogowe, sygnalizatory świetlne, kolumny hydrantów, wiaty przystanków komunikacji miejskiej lub płoty odgradzające zielen. Natomiast w strefie miasta o zabudowie indywidualnej lub na terenach wiejskich – podstawową przeszkodę stanowią ogrodzenia. Ogrodzenia są obiektami celowo formowanymi jako przeszkody, a ich zaostrzone wierzchy mogą stanowić zagrożenia i wywołać tragiczne w skutkach wypadki, jeżeli w akcji ratowniczej są stosowane pneumatyczne pontony motorowe.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że fala zalewowa przybliży powierzchnię wody do przewodów napowietrznych – energetycznych lub do sieci trakcyjnej komunikacji miejskiej.

W celu szczegółowego zobrazowania takich zagrożeń powinna być opracowana mapa przeszkód podwodnych i nadwodnych. Dla sporządzenia takiej mapy konieczne jest pozyskanie i przechowywanie w bazie danych GIS – rzędnych wysokości potencjalnych przeszkód. Analiza w GIS polega na wyznaczeniu różnicy pomiędzy rzędnymi przeszkód a rzędną aktualnej fali zalewowej. Jako wynik odejmowania uzyska się wartości dodatnie lub ujemne, oznaczające przeszkody widoczne ponad powierzchnią wody lub przeszkody niewidoczne. W obydwu przypadkach te dane mogą być naniesione na lokalną mapę sytuacyjną (rys. 4). Oznaczone na mapie wartości wykazują wysokość przeszkód ponad powierzchnią zalewiska lub głębokość zalegania przeszkód pod tą powierzchnią.

Na mapach tradycyjnych ogrodzenia są przedstawiane jako sygnatury kreskowe. W celu zwiększenia pogładowości mapy – ogrodzenia, jako obiekty liniowe, zostały zamienione w procesie buforowania na smukłe obiekty powierzchniowe. W obrazie mapy przedstawionej na rysunku 4 zastosowano bufor o promieniu 1 metra.

Także w tym przypadku, jak i w przypadkach poprzednich – mapy przeszkód mogą być sporządzane i przekazywane użytkownikom do wykorzystania – w określonych interwałach czasowych. W przypadku odebrania komunikatu o zmianach rzędnej fali zalewowej, mapa przeszkód może być korygowana bezpośrednio w terenie, z uwzględnieniem wartości wzrostu lub opadania poziomu wód zalewowych.

Mapy prognozowania zagrożeń budynków

Budynkom, które mogą się znaleźć w zasięgu fali powodziowej, powinny być przypisane krytyczne rzędne wysokościowe, odpowiadające naturalnym otworom:

- okienek piwnicznych lub progów garaży pod budynkami,
- progów drzwi kondygnacji parteru i drzwi balkonowych na wyższych kondygnacjach,
- otworów okiennych parteru i wyższych kondygnacji.

Wymienione rzędne są wartościami progowymi, powyżej których fala powodziowa zalewa kolejno kondygnację piwnicy lub garaży, poziom parteru lub kondygnacje wyższe. Zaproponowana koncepcja przewiduje pozyskiwanie i przechowywanie w bazie danych wymienionych rzędnych wysokościowych dla budynków, które znajdują się w potencjalnej strefie zalewowej.

Wymienione rzędne progowe można w doraźny sposób podwyższyć, stosując zabezpieczenia przed wlewaniem się wody do wnętrza budynku. Ale właśnie głównym celem wyznaczania tych rzędnych i przechowywania ich w bazie danych jest ostrzeżenie i mobilizowanie do podejmowania środków zabezpieczających.

W przypadku braku możliwości dalszej obrony kondygnacji budynku przed zalaniem – pozostaje konieczność rejestracji faktu zalania danej kondygnacji dla doraźnych celów ratowania mienia i późniejszej likwidacji szkód.

Na rysunku 3 zostały przedstawione odrębnymi kolorami budynki z zalaną kondygnacją parteru, z zalaną kondygnacją piwnic oraz budynki zagrożone podtopieniem w przypadku podniesienia się fali zalewowej o wartość 0,5 metra. Dla celów poglądowych na rysunku mapy mogą być zamieszczone opisy stanu bieżącego budynków.

Podsumowanie

Stosowane powszechnie obrazy map wielkoskalowych spełniają dobrze swoją funkcję w warunkach normalnych (niekryzysowych). Natomiast w warunkach zarządzania kryzysowego, w omawianym przypadku w czasie klęski powodzi, nie przedstawiają stanów przestrzeni geograficznej w sposób realistyczny, są zbyt mało poglądowe dla korzystania z nich w trudnych warunkach akcji ratowniczej. Nie dostarczają wyczerpujących danych praktycznych potrzebnych do organizacji akcji ratowniczej.

W artykule przedstawiono koncepcję zastosowania GIS w czasie rzeczywistym, przeznaczoną do działań związanych z akcją ratowniczą w czasie klęski powodzi. Opracowana koncepcja obejmuje grupy analiz w GIS, których wynikiem są realistyczne mapy czasu rzeczywistego z oznaczeniami: zasięgu warstwy fali zalewowej, głębokości wody wzdłuż tras komunikacyjnych, dopuszczalnych doraźnie dróg ewakuacji, przeszkód podwodnych i nadwodnych dla pływającego sprzętu ratowniczego. Uzupełniającą grupę proponowanych map stanowią mapy prognozowanych zagrożeń budynków.

Warunkiem zastosowania praktycznego zaproponowanej technologii jest uzupełnienie bazy danych o następujące rzędne wysokościowe:

- progów naturalnych otworów drzwiowych i okiennych budynków w ich dolnych kondygnacjach,
- przeszkód terenowych, przede wszystkim ogrodzeń,
- obiektów infrastruktury o rozwinięciu pionowym,
- napowietrznych linii energetycznych i trakcji komunikacji miejskiej.

W bazie danych powinny się także znaleźć przybliżone wysokości drzew, przynajmniej zlokalizowanych wzdłuż tras komunikacyjnych. Uzupełnienie bazy danych o wymienione

rzędne powinno być realizowane przynajmniej na terenach, które potencjalnie mogą podlegać zalewom fali powodziowej.

Do praktycznej prezentacji zaproponowanej technologii zostały wykorzystane dokumenty kartograficzne z terenów dotkniętych przez powódź, która miała miejsce w okresie letnim bieżącego roku. Analizy zostały przeprowadzone w systemie ArcGIS 9 firmy ESRI.

Tradycyjne sposoby opracowywania map nie stwarzają dostatecznych warunków do nadążania za zmiennością treści mapy, jeżeli taką zmienność narzucają procesy zachodzące w przestrzeni geograficznej. Zarządzanie kryzysowe stawia produktom systemu GIS wysokie wymagania czasowe, dotyczące dostarczania aktualnej i obszernej informacji o przestrzeni geograficznej w jej zmieniającej się postaci.

Powodzie, które w ostatnich miesiącach wielokrotnie występowały w naszym kraju – spowodowały takie straty, że nie może być pominięta żadna droga zmierzająca do wspomagania walki z tymi klęskami żywiołowymi. Poszukiwanie rozwiązania tego problemu jest wyzwaniem także dla specjalistów zajmujących się dokumentowaniem przestrzeni geograficznej za pomocą systemu GIS, wyzwaniem do tworzenia poglądowych, realistycznych, aktualnych produktów GIS oraz zawierających bogate dane praktyczne.

Literatura

- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 6.11.2007.
- Eckes K., 1998: System Informacji o Terenie jako narzędzie wspomaganie decyzji w czasie klęsk żywiołowych. Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej PTIP „Systemy Informacji Przestrzennej”, Tom I, Warszawa.
- Kondziolka K. (red.), 2009: Na kryzys. Opracowanie zespołu pracowników Ośrodka Koordynacyjno-Informacyjnego Ochrony Przeciwpowodziowej RZGW w Krakowie, *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta* nr 1.

Abstract

Commonly used large-scale map fulfill their function in normal conditions. However, in conditions of crisis management, in this case during a flood disaster, they do not present the geographic space in a realistic manner. They are not convenient enough to use them in difficult conditions of rescue operation. They do not provide sufficient data for practical need to organize the rescue operations.

In the paper a concept of GIS analyses was proposed, performed in real time, intended for rescue activities during a flood disaster. The concept involves some groups of analyses in GIS, which results are realistic real-time maps with: range of the contour of flood wave, depth of water along escape roads, underwater obstacles for amphibious rescue equipment. Supplementary group of proposed maps are the maps of expected building threats.

Practical application of the proposed concept is subject to supplementing the database and adding elevations of natural door and window openings in buildings on their lower levels, vertical infrastructure objects, fences, energetic lines and public transport traction nets.

For practical presentation of the proposed concept mapping documents from areas affected by flooding in the recent months of this year were used. Analyses were carried out in the ESRI ArcGIS system.

Floods, which in recent months have repeatedly occurred in our country - resulted in such losses, that no factor seeking to support the fight against these disasters should be neglected. Search for a solution of this problem is a challenge also for specialists documenting the geographic space by GIS, the challenge to create visual, realistic, actual GIS products containing rich suitable data.

prof. dr hab. inż. Konrad Eckes

keckes@agh.edu.pl

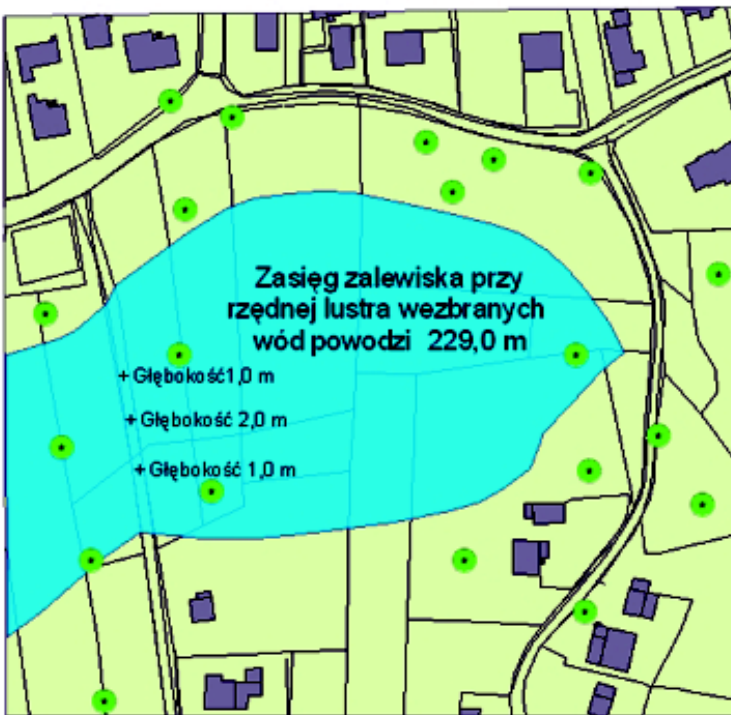
tel. +48 12 617-23-05, fax. +48 12 617-45-88

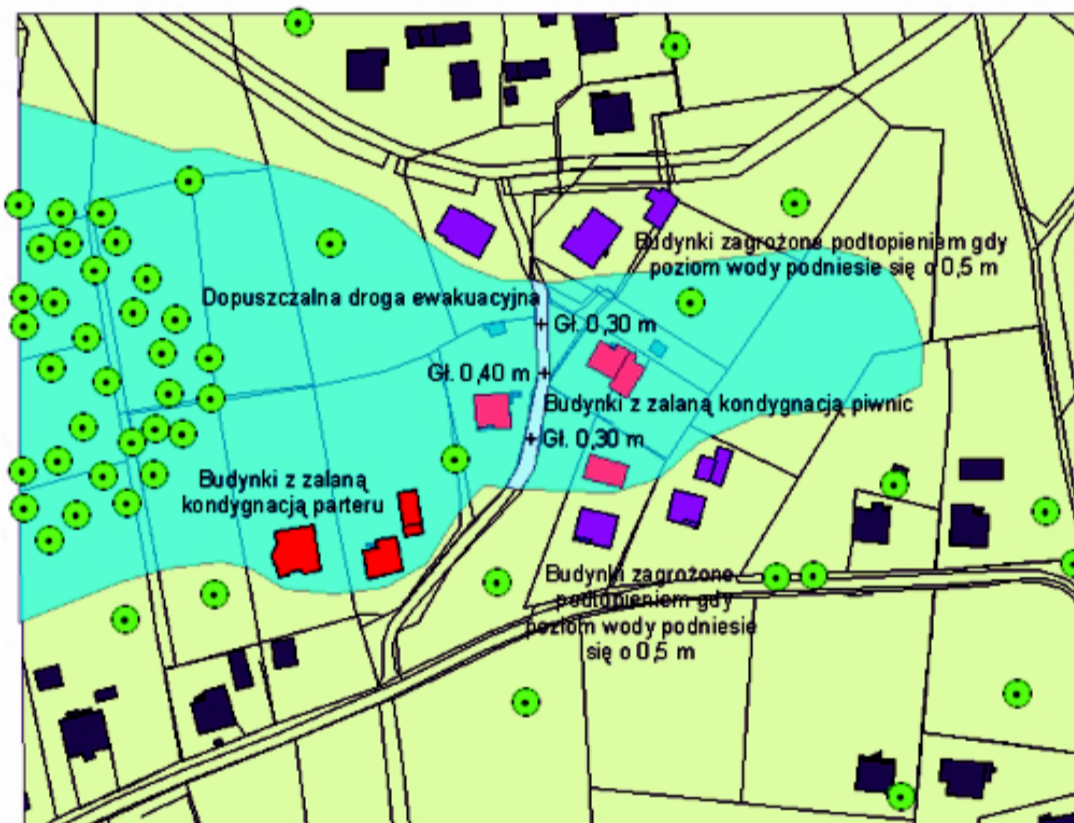
Rys. 1. Fragment tradycyjnej mapy wielkoskalowej z naniesioną warstwicą zalewiska.

Rysunek mapy zawiera nierealistyczną sytuację: szczegóły sytuacyjne, przykryte falą zalewową, w niezmięnionej postaci dominują w strefie dotkniętej powodzią; brakuje wyselekcjonowanych obiektów terenowych, które są realnie widoczne ponad rzędną lustra wody; brak danych o głębokości zalewu wzdłuż potencjalnych dróg ewakuacyjnych



Rys. 2. Obraz projektowanej mapy fali zalewowej. Płyta wody tworzy dominujący obiekt sytuacyjny o zmiennym poziomie przezroczystości; zostały wyselekcjonowane obiekty przewyższające rzędną lustra wody (drzewa) i zostały przedstawione na mapie jako realnie widoczne szczegóły sytuacyjne; wzdłuż tras oznaczono głębokości fali zalewowej





Rys. 3. Mapa terenu zalewowego z dodatkowymi danymi dotyczącymi stanu dróg i budynków. Fragment drogi łączącej grupy zabudowań został oznaczony kolorem jasnoniebieskim – jako warunkowo dopuszczalna droga ewakuacji. Rysunek przedstawia aktualny i prognozowany obraz budynków dotkniętych klęską powodzi – kolorami zostały wyróżnione budynki o zalanej kondygnacji parteru, kondygnacji piwnic oraz budynki zagrożone podtopieniem, gdy poziom fali zalewowej podniesie się o 0,5 metra. Mapa została opracowana w systemie ArcGIS 9 firmy ESRI



Rys. 4. Mapa przeszkód podwodnych i nadwodnych dla akcji ratowniczej prowadzonej za pomocą sprzętu pływającego. W wyniku analizy w systemie ArcGIS 9 firmy ESRI uzyskano lokalne wysokości przeszkód wystających ponad powierzchnię fali zalewowej (liczby ze znakiem plus) oraz głębokości posadowienia przeszkód podwodnych względem tej powierzchni (liczby ze znakiem minus). Dla wzmocnienia kreskowego rysunku przeszkód wykonano bufor ogrodzeń o promieniu 1 metra