



System informacji geograficznej i techniki obrazowania satelitarnego w zastosowaniu do analizy i wizualizacji infrastruktur krytycznych i ich zagrożeń

KRZYSZTOF BRUNIECKI, ANDRZEJ STEPNOWSKI,
ZBIGNIEW ŁUBNIEWSKI, MARCIN KULAWIAK, BARTOSZ BUSZKE¹

Politechnika Gdańska, Katedra Systemów Geoinformatycznych,
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12

¹WASAT Sp. z o.o., 00-382 Warszawa, ul. Solec 81B

Streszczenie. W chwili obecnej faktem jest występowanie zarówno coraz liczniejszych zdarzeń katastroficznych powodowanych przez siły przyrody, jak też nieustanny wzrost intensywności ataków terrorystycznych na obiekty publiczne i przemysłowe. Zagrożenia tego rodzaju stają się coraz poważniejsze w odniesieniu do wielu, także tych uważanych do tej pory za bezpieczne rejonów świata, w tym Europy i Polski. Sytuacja taka wymaga podejmowania zdecydowanych i skutecznych działań, tak w skali międzynarodowej, jak i regionalnej, w celu zabezpieczenia ludności oraz majątku państwa przed tego typu zagrożeniami oraz ich skutkami. W tym kontekście, należy podkreślić istotną rolę nowatorskich narzędzi z zakresu technologii informacyjnych w przewidywaniu i ocenie zagrożeń oraz wspomaganiu minimalizacji ewentualnych strat. W artykule przedstawiono sieciowy system informacji przestrzennej do analizy i wizualizacji infrastruktury krytycznych (IK) oraz ich zagrożeń. System ten umożliwia gromadzenie, integrację, przetwarzanie, wykonywanie różnorodnych analiz oraz wizualizację danych przestrzennych, w szczególności dotyczących IK miasta z różnych sektorów. System dla autoryzowanego użytkownika jest dostępny zdalnie, za pośrednictwem sieci Web z poziomu zwykłej przeglądarki internetowej. Narzędziem do wprowadzania danych na temat IK do systemu jest moduł analiz oparty na technologii CARVER2™. Zakłada ona porównywanie odmiennych typów infrastruktury przy zastosowaniu tych samych, wielorakich kryteriów oceny IK, takich jak ważność obiektu, dostępność dla ataku, odtwarzalność, wrażliwość na poszczególne rodzaje ataków. Wprowadzone do systemu dane przetwarzane są przez szereg procedur analiz przestrzennych w odniesieniu do różnych rodzajów zagrożeń, jak np. określanie strefy zagrożenia dla ataku bombowego czy chemicznego, czy granic obszaru zalanego w wyniku wycieku lub powodzi na podstawie danych o lokalizacji, rozmiarze i szybkości wycieku, numerycznego modelu terenu oraz modelu przemieszczania się i absorpcji materiału przez podłoże. System oferuje także inne narzędzia przetwarzania i analiz danych przestrzennych,

jak np. narzędzia do interpolacji przestrzennej za pomocą metody odwrotnej odległości bądź funkcji sklejanych. Przedstawiono także koncepcję rozbudowy systemu o jego integrację z sensorami satelitarnej obserwacji Ziemi (*Earth Observation* — EO) oraz automatyczne przetwarzanie obrazów satelitarnych w celu detekcji i analizy zagrożeń. Omówiono źródła danych satelitarnych użytecznych w tym zastosowaniu oraz planowane do wykorzystania opracowane przez Europejską Agencję Kosmiczną techniki przetwarzania i udostępniania obrazów, takie jak *Service Support Environment* — SSE. Przedstawiony system jest aktualnie wdrażany do użytkowania przez Wydział Zarządzania Kryzysowego i Ochrony Ludności Urzędu Miejskiego w Gdańsku, gdzie stanowić będzie cenne narzędzie wspomagające ochronę infrastruktury krytycznych przed zagrożeniami różnego rodzaju.

Słowa kluczowe: geoinformatyka, GIS, telemonitoring, infrastruktury krytyczne, obserwacje satelitarne

Symbole UKD: 528

1. Wstęp

Większość krajów Europy, w tym Polska, musi liczyć się z rosnącym zagrożeniem ze strony międzynarodowych organizacji terrorystycznych. Co więcej, obserwuje się także występowanie, z różną intensywnością dla różnych rejonów świata, ale obejmujących coraz większe obszary, zdarzeń katastroficznych powodowanych przez siły przyrody. Potrzebne są zdecydowane działania mające na celu ochronę ludności oraz krytycznych infrastruktur państwa przed zagrożeniami ze strony tego rodzaju zdarzeń oraz ich skutkami.

W kontekście tzw. kompleksu bezpieczeństwa narodowego (ang. *Homeland Security*) szczególnego znaczenia nabiera problem ochrony infrastruktur krytycznych (IK). Implikuje to konieczność poświęcenia wzmoczonego wysiłku badawczego monitorowaniu i ochronie systemów i infrastruktur krytycznych, warunkujących bezpieczeństwo i funkcjonowanie państwa i gospodarki. Uważa się, że infrastruktura krajowa, czy też narodowa, jest złożonym „systemem systemów” (ang. *System of Systems*).

W takim ujęciu przyjmuje się, że przez pojęcie samej infrastruktury rozumie się: „strukturę niezależnych sieci i systemów, które umożliwiają ciągły przepływ dóbr i usług istotny dla celów ochrony i bezpieczeństwa ekonomicznego kraju” [1].

Natomiast przez Krajowe Infrastruktury Krytyczne rozumie się: „infrastruktury, które uznawane są za tak istotne, że ich niesprawność lub zniszczenie będzie miało paraliżujący wpływ w skali regionalnej lub krajowej bądź poważnie zakłóci postępowanie i czynności dużej liczby osób zależnych od infrastruktur” [1].

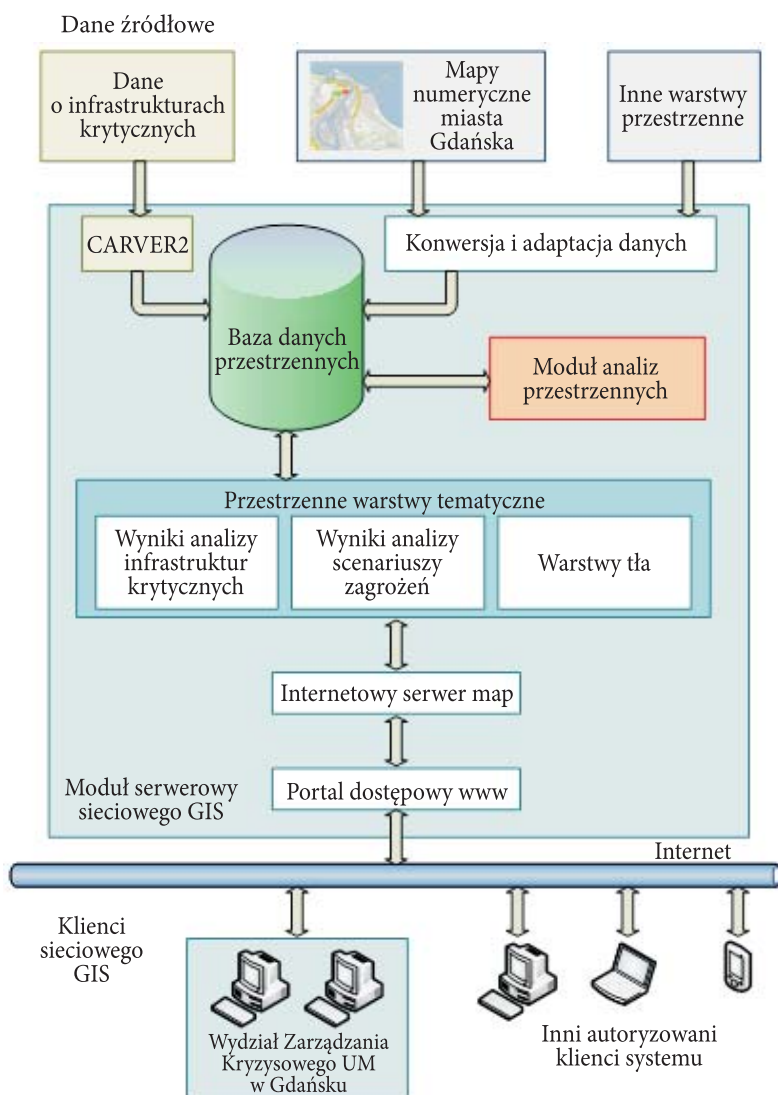
W powyższym kontekście bardzo istotną rolę odgrywają nowatorskie narzędzia z zakresu technologii informacyjnych służące do przewidywania zagrożeń oraz wspomagające procesy minimalizacji ewentualnych strat. W szczególności sieciowe systemy informacji geograficznej (*Web-based Geographic Information Systems*) wykorzystujące sieć internetową do ochrony infrastruktur krytycznych, pozwalają na wizualizację i udostępnianie danych przestrzennych, w tym na temat bieżącej sytuacji w zakresie zagrożeń, w czasie niemalże rzeczywistym [2].



2. Architektura systemu

Opracowany system stanowi rozwiązanie polegające na syntezie poszczególnych technologii: CARVER2™, GIS oraz wizualizacji i udostępniania danych wraz z wynikami ich przetwarzania autoryzowanym użytkownikom za pośrednictwem sieci Web.

Schemat blokowy systemu przedstawiony został na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu

Dane przetwarzane przez system to przede wszystkim dane o infrastrukturach krytycznych oraz warstwy z map numerycznych miasta Gdańska, a także inne warstwy danych przestrzennych. System składa się z modułu analiz IK opracowanego w oparciu o technologię CARVER2™, sieciowego systemu GIS oraz autoryzowanych, zdalnych użytkowników [3, 4]. Moduł CARVER2™ dostarcza syntetycznych wyników analiz IK zapisywanych w *Bazie Danych Przestrzennych*, która przechowuje także informacje na temat scenariuszy zagrożeń, jak również dane w postaci map numerycznych miasta Gdańska. Zawartość bazy danych przetwarzana jest przez *Moduł Analiz Przestrzennych*.

Dane przestrzenne wraz z wynikami ich przetwarzania udostępniane są autoryzowanym użytkownikom w formie przestrzennych warstw tematycznych przez Internetowy Serwer Map za pośrednictwem *Portalu Dostępowego WWW*. Tworzenie zmieniających się w czasie przestrzennych warstw tematycznych służy do prezentacji wyników algorytmów przewidywania rozwoju aktualnej sytuacji przy wystąpieniu zadanego scenariusza zagrożenia bądź ataku.

Zawartość przestrzennej bazy danych wraz z wynikami przeprowadzonych analiz wizualizowana jest w kontekście geograficznym w postaci warstw tematycznych i dostępna jest, za pośrednictwem *Internetowego Serwera Map* oraz *Portalu Dostępowego WWW*, dla autoryzowanych zdalnych użytkowników przez sieć Internet przez zwykłą przeglądarkę. Funkcjonalność systemu dostępna dla takiego użytkownika obejmuje:

- podstawowe narzędzia do nawigacji w widoku mapy,
- narzędzia dostępu do atrybutów obiektów przedstawianych na mapie, w szczególności atrybutów nieprzestrzennych, jak np. liczba mieszkańców budynku lub określonego obszaru,
- tworzenie zapytań w celu selekcji zbiorów obiektów na podstawie kryteriów odnoszących się zarówno do ich cech przestrzennych, jak i nieprzestrzennych,
- definiowanie parametrów oraz uruchamianie procedur geoprzetwarzania i analiz przestrzennych.

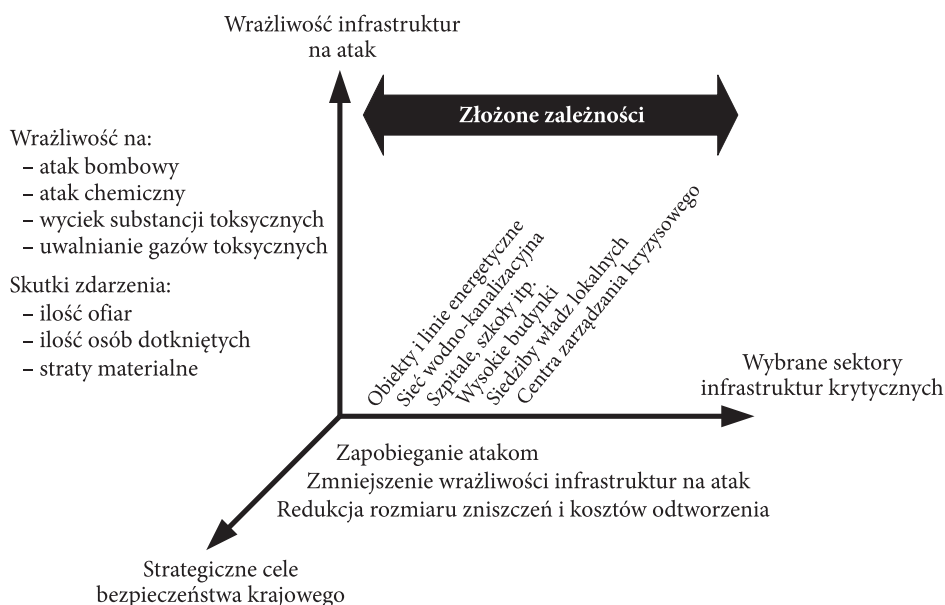
Głównym użytkownikiem systemu jest Wydział Zarządzania Kryzysowego i Ochrony Ludności Urzędu Miejskiego w Gdańsku. Środowisko systemu zorientowane jest na wspomaganie pracy rozproszonego zespołu ludzkiego do zarządzania sytuacją kryzysową. System posiada wygodny, intuicyjny interfejs oparty na serwisie WWW, a także wielopoziomowy system autoryzacji i kontroli dostępu. Ważniejsze elementy systemu zostały omówione w kolejnych podsekcjach.

2.1. Moduł analizy wrażliwości infrastruktur krytycznych CARVER2™

Moduł CARVER2™ służy do analizy IK metodą porównywania odmiennych typów infrastruktur przy zastosowaniu tych samych kryteriów [1]. Pozwala on na wykorzystanie wielorakich kryteriów oceny infrastruktury krytycznej, takich jak



ważność obiektu, dostępność dla ataku, odtwarzalność, wrażliwość na poszczególne rodzaje ataków itp. Uwzględnia również złożone zależności pomiędzy poszczególnymi sektorami, a także wrażliwość infrastruktury na różne rodzaje ataków, w szczególności terrorystycznych, jak zostało to przedstawione na rysunku 2. Wynik końcowy analizy otrzymywany jest w postaci wartości liczbowej stanowiącej syntetyczną ocenę krytyczności (wrażliwości) danego elementu infrastruktury.



Rys. 2. Wieloaspektowość zagadnienia ochrony infrastruktury krytycznych

W przedstawionym systemie technologia CARVER2™ została zaadaptowana w implementacji narzędzia zgodnego ze specyficznymi wymaganiami Wydziału Zarządzania Kryzysowego Urzędu Miejskiego w Gdańsku (WZKiOL). Ustalono, że w pierwszym, pilotażowym etapie użytkowania systemu następujące rodzaje i sektory IK będą przedmiotem analiz:

- obiekty i linie energetyczne,
- sieć wodno-kanalizacyjna,
- obiekty stanowiące „skupiska ludności” (szpitale, szkoły itp.),
- wysokie budynki,
- siedziby władz lokalnych oraz centra zarządzania kryzysowego.

Wybór rodzajów IK przetwarzanych i analizowanych w systemie został dokonany na podstawie:

- specyfikacji celów polityki bezpieczeństwa krajowego na poziomie ogólnopolskim oraz regionalnym,

- dostępności danych opisujących IK z poszczególnych sektorów dla obszaru miasta Gdańska,
- doświadczenia WZKiOL.

W bieżącej, prototypowej wersji systemu, przewiduje się następujące rodzaje zagrożeń, które mogą być przedmiotem analiz:

- atak bombowy,
- atak z użyciem broni chemicznej,
- wyciek toksycznej substancji,
- uwolnienie gazowej substancji toksycznej,
- powódź.

Przyjęto następujące kryteria definiujące krytyczność infrastruktury w odniesieniu do danego rodzaju zagrożenia:

- przewidywana ilość osób dotkniętych zdarzeniem,
- przewidywana ilość ofiar śmiertelnych,
- straty materialne i koszty odbudowy,
- dostępność obiektu — rodzaje stosowanych zabezpieczeń,
- czas potrzebny na odtworzenie funkcjonalności infrastruktury,
- możliwość zastąpienia danej infrastruktury inną.

Formularz kwestionariusza służącego do zbierania danych o infrastrukturach krytycznych w systemie został przedstawiony na rysunku 3.

The image shows a web browser window displaying a GIS application. On the left, a map titled "Web-Based GIS for Gdansk Crit" is visible, showing a geographical area with various infrastructure elements marked. On the right, a survey form titled "ANKIETA na temat wybranych infrastruktur krytycznych miasta Gdańska i ich zagrożeń" is displayed. The form is divided into three main sections: A. Informacje o infrastrukturze, B. Rodzaj zagrożenia, and C. Ocena zagrożenia w najgorszym przypadku (kalkulacja potencjalnych strat). Section A includes fields for object name, ID, address, sector, and type. Section B includes radio buttons for "Gazy toksyczne", "Płynы toksyczne", and "Powódź", with "Powódź" selected. Section C includes a dropdown menu for the number of people affected and a date field.

Rys. 3. Okno formularza kwestionariusza do zbierania danych o infrastrukturach krytycznych na tle głównego ekranu Sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do analizy i wizualizacji infrastruktur krytycznych

2.2. Baza danych przestrzennych oraz przykłady wizualizacji infrastruktury krytycznych

Jądrem systemu stanowią: baza danych przestrzennych oraz moduł analiz przestrzennych. Moduły te odpowiedzialne są za tworzenie oraz przechowywanie przestrzennych warstw danych w odpowiedzi na różnorakie zapytania użytkownika oraz wykonywane analizy z uwzględnieniem poszczególnych scenariuszy zagrożeń.

Baza danych przestrzennych odpowiedzialna jest za zintegrowane przechowywanie, utrzymanie oraz aktualizowanie danych, takich jak:

- dane o wybranych, wyszczególnionych w poprzedniej sekcji typach IK, w tym wyniki ich analiz wykonywanych przez moduł CARVER2™,
- dane z map cyfrowych terenu miasta Gdańska opisujące położenie ulic, budynków, podział administracyjny itp. (łącznie ok. 200 warstw),
- scenariusze zagrożeń w postaci dedykowanych modeli przestrzennych danego zjawiska (np. strefy rażenia ataku bombowego czy przybliżony, szacowany zasięg rozprzestrzeniania się toksycznej substancji).

Dane przestrzenne na temat infrastruktury krytycznych oraz innych elementów infrastruktury miejskiej Gdańska zostały pozyskane:

- z zasobów numerycznej mapy miasta będącej w posiadaniu Urzędu Miejskiego w Gdańsku jako wektorowe warstwy danych,
- bezpośrednio od instytucji odpowiedzialnych za dany sektor IK, takich jak np. podmiot dostarczający energię elektryczną (ENERGA) bądź wodę pitną (Saur Neptun Gdańsk).

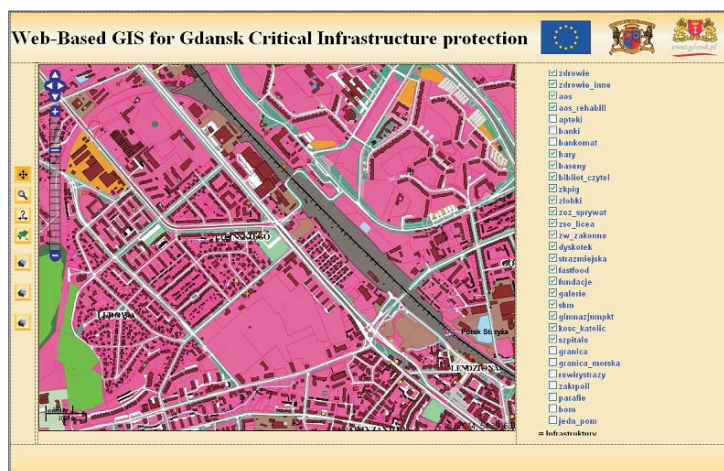
Należy podkreślić, że w tym drugim przypadku jakość pozyskiwanych danych nie zawsze była zadowalająca, ze względu na różnorodność i niespójność formatów danych otrzymywanych od różnych instytucji oraz ich niekompletność. Niejednokrotnie dane były dostarczane w formie warstw rastrowych będących skanami materiałów drukowanych, brak było wyszczególnienia odrębnych obiektów oraz ich opisów postaci atrybutów. W związku z tym dane tego rodzaju były w dużej mierze uzupełniane ręcznie przez twórców systemu.

Widok ekranu systemu z przykładową wizualizacją warstw infrastruktury miejskiej Gdańska nałożonych na dane tła przedstawiony został na rysunku 4.

Oprócz wymienionych w sekcji 3 danych dotyczących wybranych sektorów IK, następujące przestrzenne wektorowe warstwy tematyczne są przechowywane w bazie danych:

- typ terenu (zbiornik wodny/las/pole uprawne/teren zabudowany...),
- infrastruktura techniczna miasta: budynki, ulice,
- granice administracyjne,
- komunikacja: linie tramwajowe, kolejowe itp.,
- służby komunalne: komisariaty policji i ich rejony, placówki straży pożarnej itp.,

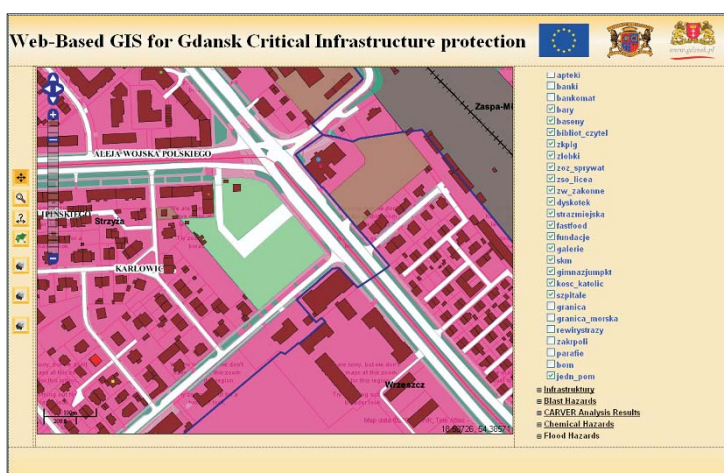




Rys. 4. Wizualizacja północno-zachodnich terenów miasta Gdańska z uwzględnieniem warstw opisujących szczegółowo infrastrukturę miejską

- służba zdrowia (oprócz szpitali, które zostały wymienione w poprzedniej sekcji — przychodnie i ośrodki zdrowia).

Połączenie warstw pochodzących z różnych źródeł pozwala na zachowanie dużej dokładności prezentowanych danych na różnych poziomach szczegółowości. Rysunek 5 przedstawia wybrany zestaw infrastruktur miejskich na poziomie pojedynczego osiedla.



Rys. 5. Wizualizacja wybranego zestawu infrastruktur miejskich na poziomie osiedla — rejon skrzyżowania Alei Grunwaldzkiej i Wojska Polskiego

2.3. Moduł analiz przestrzennych

Moduł analiz przestrzennych stanowi implementację procedur przetwarzania i analizy danych przestrzennych. Jego funkcjonalność obejmuje:

- podstawowe narzędzia geoprzetwarzania,
- zaawansowane narzędzia analiz przestrzennych, operujące zarówno na danych rastrowych jak i wektorowych,
- tworzenie trójwymiarowych, a także zmiennych w czasie warstw tematycznych.

Przykładem prostej procedury geoprzetwarzania może być buforowanie, tj. stworzenie warstwy wektorowej obiektów typu wielobok jako zbiorów połączonych liniami punktów odległych nie bardziej niż o zadaną wartość od najbliższego obiektu należącego do danego sektora IK. Innym przykładem może być stworzenie warstwy poprzez zaznaczenie tych lokalizacji przestrzennych, w których jednocześnie znajdują się obiekty z dwóch lub większej ilości infrastruktury, np. wiaduktów jako miejsc nakładania się, tj. spotkania w przestrzeni infrastruktury drogowej i kolejowej [5].

Przykładem zaawansowanych analiz przestrzennych może być stworzenie rastrowej mapy przedstawiającej lokalną „gęstość” IK, np. liczba obiektów danego typu znajdujących się w odległości nie większej niż zadana od bieżącego miejsca. Innym przykładem może być stworzenie rastrowej warstwy tematycznej poprzez interpolację przestrzenną wartości atrybutów obiektów punktowych otrzymanych w wyniku wykonanej wcześniej pewnej procedury analizy danych. W systemie zaimplementowanych zostało kilka metod interpolacji przestrzennej, przykładowo:

- interpolacja metodą ważonej odwrotnej odległości (*Inverse Distance Weighted* — IDW) lub krigingu może zostać zastosowana w przypadku, gdy właściwe jest przyjęcie założeń modelu „punktowych źródeł”, jak np. w estymacji lokalnej koncentracji infrastruktury krytycznych, czego przykład jest przedstawiony dalej,
- interpolacja za pomocą funkcji sklepanych w przypadku estymacji rozkładu przestrzennego wartości ciągłej.

Tworzenie zmieniających się w czasie przestrzennych warstw tematycznych służy do prezentacji wyników algorytmów przewidywania rozwoju aktualnej sytuacji przy wystąpieniu zadanego scenariusza zagrożenia bądź ataku.

Przykłady wyników działania procedur analiz przestrzennych w odniesieniu do wybranych zagrożeń przedstawione zostały w następnej sekcji.

3. Przykłady zastosowań systemu

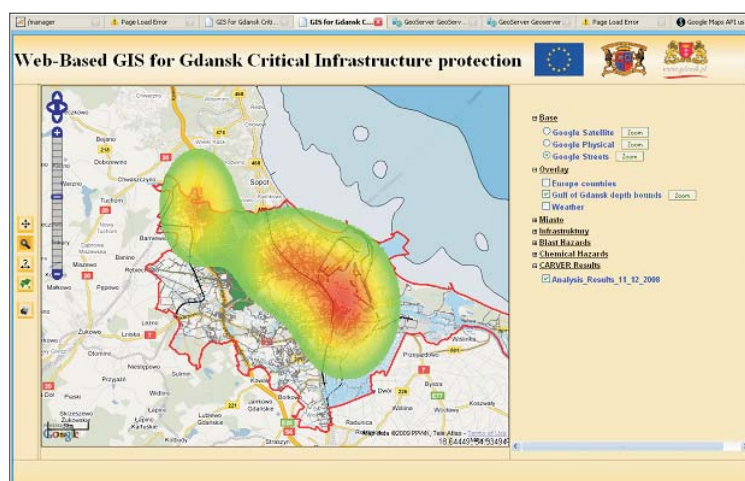
Przykładowe wyniki syntetycznej oceny krytyczności wybranych infrastruktury z terenu miasta Gdańska przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Przykładowa punktacja CARVER2TM dla wybranych infrastruktur krytycznych na terenie miasta Gdańska

Lp.	Infrastruktura krytyczna	Wynik
1	Rafineria Gdańska	165
2	Port w Gdańsku	138
3	Szpital Wojewódzki	144
4	Straszyn — wodociągi	172
5	Główna rozdzielnia prądu	90
6	Port lotniczy	142
7	Dworzec główny PKP	112

Kolejnym etapem działania systemu jest umieszczenie otrzymanej punktacji CARVER2TM w kontekście geograficznym, z wykorzystaniem cyfrowej mapy Gdańska i okolic jako tła. Możliwe jest przy tym przeprowadzenie interpolacji przestrzennej wartości punktacji przypisanych punktom–obiektom w przestrzeni, np. przy pomocy metody IDW wspomnianej wyżej (rys. 6). Metoda ta zakłada redukcję wpływu danego elementu ze zbioru danych o znanej wartości na wartość interpolowaną ze wzrostem odległości w przestrzeni od lokalizacji tego elementu [4]. W takim ujęciu otrzymana warstwa może być traktowana jako graficzne przedstawienie miary lokalnej koncentracji elementów IK.



Rys. 6. Wizualizacja warstwy przedstawiającej interpolowane za pomocą metody ważonej odwrotnej odległości (IDW) wyniki analizy infrastruktur krytycznych

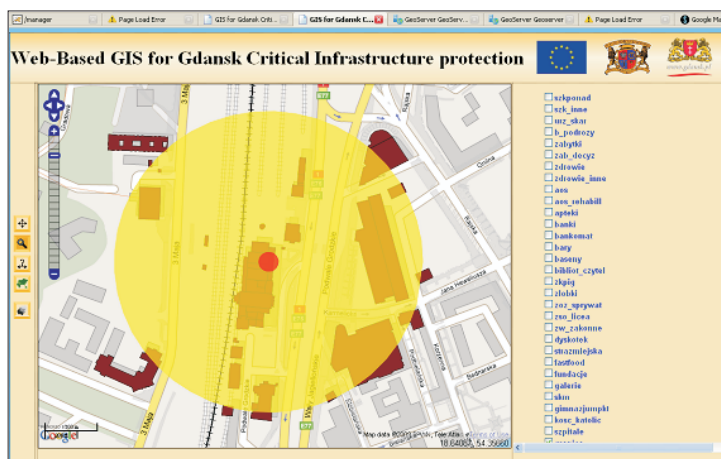
Tego rodzaju wizualizacje mogą stanowić wartościowe narzędzie w analizach wrażliwości terenu i jego poszczególnych fragmentów na różne rodzaje ataków i innych zagrożeń, a w szerszym ujęciu — w strategicznym planowaniu zagospodarowania przestrzennego.

Jak już wspomniano, system pozwala też na analizę wrażliwości elementów IK na poszczególne rodzaje ataków i innych zagrożeń za pomocą dedykowanych scenariuszy, tj. modeli przestrzennych danego zjawiska. Przykładowo, na rysunku 7 przedstawiono graficzną wizualizację skutków ataku bombowego na główny dworzec kolejowy w Gdańsku. Promienie określające wielkość strefy całkowitego zniszczenia (*structural damage zone* — ciśnienie powyżej 27 kPa) oraz strefy mniejszych zniszczeń (*severe injures zone* — ciśnienie poniżej 27 kPa i powyżej normalnego poziomu ciśnienia atmosferycznego) zostały obliczone z użyciem modelu matematycznego używanego w szacowaniu skutków eksplozji materiałów wybuchowych [6]:

$$R = \left(\frac{185 \text{ m}^{0,4}}{p} \right)^{0,8333}, \quad (1)$$

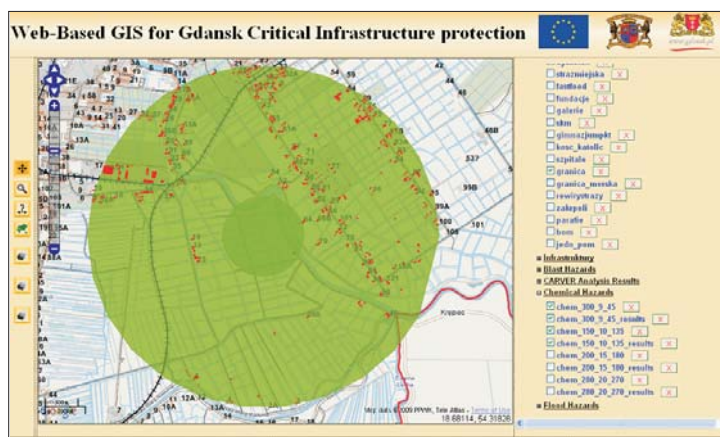
gdzie: R — promień strefy w metrach;
 m — masa użytego materiału wybuchowego w kg;
 p — graniczna wartość ciśnienia.

Inny przykład dotyczy analizy i wizualizacji przestrzennej zagrożenia związanego z wydostaniem się na zewnątrz toksycznej substancji chemicznej, z zastosowaniem

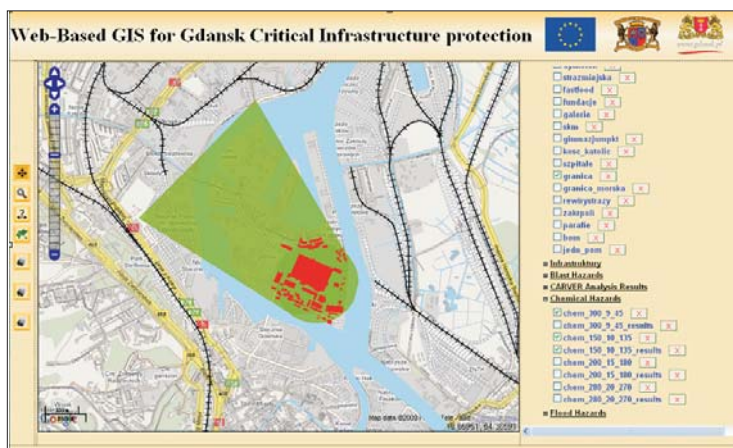


Rys. 7. Wizualizacja szacowanych skutków ataku bombowego na główny dworzec kolejowy w Gdańsku. Czerwone koło — strefa całkowitego zniszczenia (*structural damage zone*), żółte koło — strefa mniejszych zniszczeń (*severe injures zone*)

algorytmu bazującego na normie NATO ATP-45 [7]. Rysunki 8 i 9 przedstawiają wizualizację zasięgu strefy zagrożenia dla zdarzenia tego rodzaju zagrożenia przy zakładanej prędkości wiatru odpowiednio 5 km/h i 15 km/h.



Rys. 8. Wizualizacja strefy zagrożenia toksyczną substancją chemiczną, dla której wykryty został stan przedostania się do atmosfery, przy założeniu prędkości wiatru 5 km/h



Rys. 9. Wizualizacja strefy zagrożenia toksyczną substancją chemiczną, dla której wykryty został stan przedostania się do atmosfery na terenie portu w Gdańsku, przy założeniu wiatru o prędkości 15 km/h i kierunku południowo-wschodnim

Prezentowany system zawiera także narzędzia do symulacji i wizualizacji różnorodnych innych zagrożeń, w tym katastrof pochodzenia naturalnego. Przykładowo, rysunki 10 i 11 ukazują dwa etapy symulacji powodzi na tym samym terenie.

W prezentowanym przykładzie użyty został bardzo prosty model zalewania terenu wskutek powodzi, wykorzystujący następujące dane:

- wartość poziomu wody dla wskazanej jednej lokalizacji,
- wysokościowy model terenu (*Digital Elevation Model* — DEM) z uwzględnieniem położenia wałów przeciwpowodziowych.

Model ten przewiduje po prostu zalanie całości obszaru wokół źródłowej lokalizacji, który położony jest niżej niż zakładany poziom wody. W przypadku wizualizowanym na rysunku 10 zalana została większość analizowanego terenu. Rysunek 11 przedstawia sytuację na tym samym terenie przy założeniu zbudowania wałów przeciwpowodziowych w wybranych miejscach.

Ostatni przykład dotyczy wykorzystania prezentowanego systemu do symulacji scenariusza wycieku wody lub innej płynnej substancji z konkretnego miejsca (np. uszkodzonego fragmentu wodociągu). Opracowany i zaimplementowany model pozwala na przewidywanie drogi spływu substancji oraz lokalizacji zalewanego przez nią obszaru. Nadaje się on także do przeprowadzania bardziej dokładnych symulacji zalewania w wyniku powodzi. Dane wejściowe dla tego modelu stanowią:

- lokalizacja, rozmiar i prędkość wycieku,
- wysokościowy model terenu (DEM),
- model absorpcji spływającej substancji przez warstwy gruntu,
- model prędkości przemieszczania się spływającej substancji.

Rysunek 12 przedstawia wynik przykładowej symulacji punktowego wycieku.

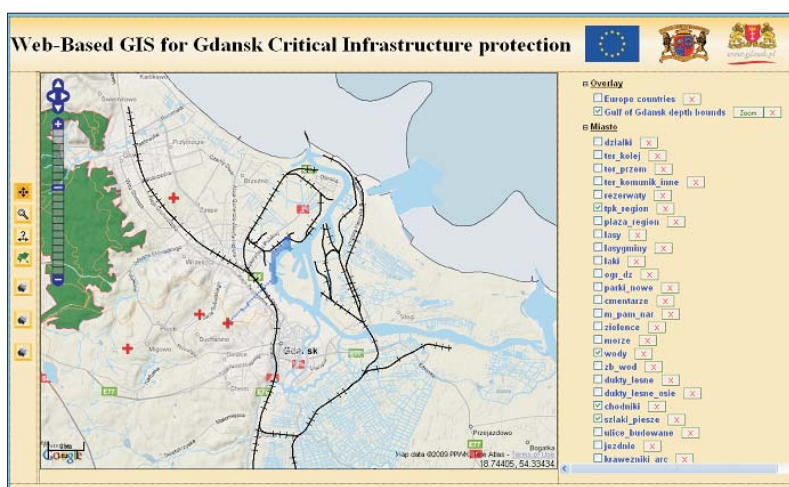


Rys. 10. Wizualizacja scenariusza zagrożenia powodziowego z założeniem wzrostu poziomu wody o 2 m w rejonie delty Wisły. Widoczne jest zalanie dużego obszaru usytuowanego na południowy wschód od centrum Gdańska w związku z jego niskim położeniem





Rys. 11. Wizualizacja scenariusza zagrożenia powodziowego z założeniem wzrostu poziomu wody o 2 m w rejonie delty Wisły, po dodaniu wałów przeciwpowodziowych w wybranych miejscach (oznaczonych czarną linią biegnącą wzdłuż południowego brzegu rzeki)



Rys. 12. Wyniki symulacji punktowego wycieku. Droga spływu oraz zalany obszar przedstawione zostały ciemniejszym odcieniem w centralnej części mapy

4. Rozbudowa systemu o moduł danych satelitarnych

Planuje się rozbudowę systemu o jego integrację z sensorami satelitarnej obserwacji Ziemi (*Earth Observation* — EO) oraz automatyczne przetwarzanie obrazów satelitarnych w celu detekcji i analizy zagrożeń. Jedną z zasadniczych części systemu będzie stanowił moduł do pozyskiwania i zaawansowanego przetwarzania na bieżąco obrazów satelitarnych.



Obrazowanie satelitarne jest bardzo użyteczną techniką w zdalnym monitoringu powierzchni Ziemi. Współczesne wysokorozdzielcze systemy satelitarne dostarczają danych zarówno o szczegółach topografii terenu, jego cechach ze względu na różne kryteria (typ terenu, pokrycie roślinnością, rodzaje i wilgotność gleb), a także informacji w sytuacji zagrożeń, katastrof oraz przy szacowaniu i usuwaniu ich skutków: monitoring pożarów, skażeń terenu, plam ropy naftowej w morzu itp. Z uwagi na nieprzerwane funkcjonowanie systemów obrazowania satelitarnego, pozyskiwanie danych tą drogą jest generalnie tańsze niż za pomocą zdjęć lotniczych i pomimo za długich, jak na wymagania pewnych zastosowań, czasów rewizyty, pozwala na regularny monitoring danego obszaru oraz łatwiejszą obróbkę uzyskiwanych zdjęć.

Przewiduje się, że w projektowanym systemie na analizowaną informację będą składać się między innymi wysokorozdzielcze obrazy satelitarne z satelity Ikonos należącego do Space Imaging, z satelity QuickBird, którego właścicielem jest Digital Globe, z satelitów MODIS: Terra i Aqua należących do NASA, jak również obrazy z satelitów meteorologicznych, np. za pośrednictwem systemu EUMETCast. Przewiduje się trzy zasadnicze tryby pozyskiwania obrazów satelitarnych:

- bezpośrednio, za pomocą posiadanego przez Katedrę Systemów Geoinformacyjnych PG odbiornika obrazów satelitarnych — satelitarnej naziemnej stacji odbiorczej 1,5 metra HRPT-MetOp system firmy Dartcom (stacja ta umożliwia odbiór danych bezpośrednio z różnych satelitów o orbitach okołobiegunowych i aktualnie jest zainstalowana i wykorzystywana w celu umożliwienia odbioru na bieżąco danych z obserwacji satelitarnych),
- pośrednio, poprzez system redystrybucji obrazów satelitarnych przy użyciu satelitów telekomunikacyjnych (system EUMETCast, umożliwiający odbiór danych, między innymi z satelitów Meteosat Second Generation),
- pośrednio, poprzez import do systemu obrazów z serwisów instytucji-operatorów satelitów obserwujących Ziemię, za pośrednictwem sieci Internet, na podstawie wykupionych licencji.

W zakresie pozyskiwania i przetwarzania obrazów przewiduje się także współpracę z czołowymi ośrodkami europejskimi w tej dziedzinie, jak *European Space Research Institute* (ESRIN) — Frascati, Włochy oraz *Meteorological Environmental Earth Observation* (MEEO) — Ferrara, Włochy.

We wszystkich przypadkach import danych satelitarnych do systemu i ich wstępna obróbka odbywać się będzie automatycznie i na bieżąco, a podstawowym interfejsem zewnętrznym będzie dedykowany serwer WCS (*Web Coverage Server*).

W module obrazów satelitarnych zostaną zaimplementowane różne procedury przetwarzania danych satelitarnych, niezbędne dla uzyskania planowanej funkcjonalności systemu, między innymi:

1. Wspomaganie wyboru dostępnych aktualnie bądź najlepszych źródeł danych. Czas rewizyty danego obszaru dla pojedynczego systemu obrazowania satelitarnego, jak Ikonos czy QuickBird, jest dość długi (1 do 3 dni), jednak



z uwagi na dostępność wielu systemów satelitarnych, możliwe będzie pozyskiwanie zdjęć z niewielkimi opóźnieniami w odniesieniu do wymagań funkcjonalnych systemu, przy czym nie zawsze będą to obrazy najlepszej jakości. Użyteczny będzie więc w systemie mechanizm wspomagający optymalny wybór źródła danych.

2. Korekcja radiometryczna obrazów, tj. kompensacja wpływu aktualnych charakterystyk detektorów oraz atmosfery na rejestrowaną wartość promieniowania, na podstawie pozyskiwanych na bieżąco danych kalibracyjnych o systemie satelitarnym oraz o stanie atmosfery.
3. Automatyczna korekcja geometryczna oraz georeferencja obrazów w odpowiednim odwzorowaniu kartograficznym w celu ich integracji z innymi warstwami GIS.
4. Składanie warstw i operacje algebraiczne na podzakresach obrazów w celu wydobycia treści istotnych dla danej aplikacji.
5. Wstępne, poprawiające jakość transformacje punktowe (np. przetwarzanie histogramu) i kontekstowe (np. filtracja przestrzenna) obrazów.

Przewiduje się satelitarny monitoring następujących rodzajów zagrożeń:

- zagrożenia ogniowe, pożary,
- zadymienie,
- zanieczyszczenia atmosferyczne,
- powódzie, poziom wód,
- opady deszczu,
- skażenie chemiczne,
- infrastruktury krytyczne (IK),
- plamy ropy naftowej.

W wyniku konsultacji przeprowadzonych przez autorów z Earth Observation Programmes Ground Segment Department w ESRIN, a także MEE0, wyszczególniono, z jakich źródeł danych EO zamierza się korzystać i do monitoringu jakich zagrożeń dane te będą mogły być przydatne. Wyniki tych ustaleń zostały przedstawione w tabeli 2.

W implementacji niniejszego modułu systemu planuje się wykorzystać opracowane przez Europejską Agencję Kosmiczną (*European Space Agency* — ESA) techniki przetwarzania i udostępniania obrazów satelitarnych, takie jak *Service Support Environment* — SSE czy SOILMAPPER.

SSE jest platformą umożliwiającą integrację różnych systemów obserwacji satelitarnej oraz systematów informacji geograficznej. Wykorzystując sieć internetową, umożliwia zorganizowanie zunifikowanych łańcuchów komunikacji pomiędzy dostawcami danych i produktów związanych z satelitarną obserwacją Ziemi oraz dostawcami serwisów informacji geograficznej. Podstawowym założeniem SSE jest wykorzystanie otwartych standardów w celu maksymalizacji możliwości współpracy i łączenia danych z różnych źródeł. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie bardziej



TABELA 2

Możliwości zastosowania satelitów obserwacyjnych do detekcji zagrożeń

Zastosowanie	Platforma satelitarna					
	MSG	MODIS	Landsat	SPOT	Ikonos/ QuickBird/ GeoEye	SAR
Požary	X	X				
Zadymienie	X	X	X	X		
Zanieczyszczenia atmosferyczne		X				
Powodzie	X	X	X	X	X	X
Opady	X	X				
Skażenie chemiczne		X				
IK				X	X	X
Plamy ropy		X	X	X	X	X

złożonych zobrazowań terenu, niosących maksymalną informację związaną z danym zapotrzebowaniem.

SOILMAPPER służy do automatycznej klasyfikacji obrazów pochodzenia satelitarnego. Umożliwia klasyfikację terenu na kategorie związane z zawartością wody, roślinności czy zabudowań. Umożliwia ponadto tworzenie produktów pochodnych, między innymi z procentową zawartością wody na danym terenie, czy indeksem biomasy.

Na rysunku 13 przedstawiono przykładowy obraz z satelity Quickbird wraz z wersją sklasyfikowaną przy użyciu SOILMAPPER-a.



Rys. 13. Obraz z satelity Quickbird z 05.05.2003 wraz z klasyfikacją terenu, po lewej obraz oryginalny, po prawej obraz po klasyfikacji

5. Podsumowanie

W artykule przedstawione zostały zagadnienia technologii bezpieczeństwa krajowego w kontekście ochrony ludności oraz infrastruktur krytycznych państwa w obliczu narastających obecnie zagrożeń różnego pochodzenia i rodzaju. Następnie zaprezentowany został Sietkowy System Informacji Przestrzennej do analizy i wizualizacji IK oraz ich zagrożeń opracowany przez Katedrę Systemów Geoinformatycznych Politechniki Gdańskiej. System powstał na zamówienie Wydziału Zarządzania Kryzysowego i Ochrony Ludności Urzędu Miejskiego w Gdańsku i we współpracy z tym Wydziałem. Stworzony system stanowi zintegrowane środowisko do analizy i wizualizacji IK oraz scenariuszy zagrożeń, jak również jest cennym narzędziem pracy grupowej pozwalającym na wymianę informacji pomiędzy odległymi fizycznie centrami decyzyjnymi. Został zaprojektowany do wspomagania procesu planowania działań na wypadek sytuacji kryzysowych oraz ich następstw. Pierwsze doświadczenia użytkownika systemu pokazują, iż w związku z różnorodnością potencjalnych zagrożeń terrorystycznych, w tym bombowych i chemicznych, jak również naturalnych, omawiany system może stanowić przydatne narzędzie dla średnich i dużych aglomeracji na terenie całego świata. Zastosowane podejście, wspomagające tworzenie bardziej efektywnych scenariuszy działań w sytuacjach kryzysowych, powinno w rezultacie spowodować ogólny wzrost poziomu i skuteczności ochrony IK i minimalizacji skutków zaistniałych zdarzeń. Wykorzystanie danych z satelitów obserwacyjnych wraz z odpowiednimi metodami interpretacyjnymi umożliwi wczesne wykrywanie zagrożeń dla IK. Dzięki automatyzacji procesu interpretacji, możliwe będzie przetwarzanie znacznych ilości danych przy minimalnym udziale czynnika ludzkiego.

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano we wrześniu 2009 r.

LITERATURA

- [1] NI2 Center for Infrastructure Expertise, CARVER2™ Users Manual, 2007.
- [2] Final narrative report on the implementation of the project No. JLS/2007/EPCIP/001 *Web-based Geographic Information System for Assessment and Visualisation of Critical Infrastructure and its Hazards by Civilian Services*, sponsored by the European Commission under the scheme of European Programme for Critical Infrastructure Protection (EPCIP), 2007.
- [3] J. DEMKOWICZ, K. BIKONIS, A. CHYBICKI, A. STEPNOWSKI, *Coastal zone Critical Infrastructure protection using dedicated Geographical Information System*, Proceedings of the Technologies for Homeland Security and Safety (TEHOSS), Istanbul, Turkey, 2006, 127-132.
- [4] M. KULAWIAK, K. BIKONIS, A. STEPNOWSKI, *Dedicated Geographical Information System In the context of Critical Infrastructure Protection*, Proceedings of the 1st International Conference on Information Technology, Gdańsk, Poland, 2008, 157-162.
- [5] M. KULAWIAK, A. CHYBICKI, J. DĄBROWSKI, A. STEPNOWSKI, *Dedicated Geographic Information System for marine area monitoring, threat sensing, visualization and Web-based dissemination*, International Waterside Security Conference and Exhibition, WSS2008, Lyngby, 2008.



- [6] U.S. General Services Administration, *GSA Security Reference Manual, Part 3 Blast Design and Assessment Guidelines*, 2001.
- [7] J. BALLARD, J. CHOI, T. OAKES, M. PIZZUTO, J. RAMÍREZ, D. E. BROWN, J. DALTON, *Visual decision-support tools for first responders*, Proceedings of the 2004 Systems and Information Engineering Design Symposium, USA, 2004.

K. BRUNIECKI, A. STEPNOWSKI, Z. ŁUBNIEWSKI,
M. KULAWIAK, B. BUSZKE

Geographic information system and satellite imaging techniques applied for analysis and visualisation of critical infrastructures and their threats

Abstract. At present, the increase in catastrophic natural disasters as well as events of terrorist attacks against public and industrial objects is observed. Threats of this kind become more realistic and serious with respect to many regions and places in the world considered relatively safe previously, including Europe and Poland. This situation requires determined and effective actions, both in international and regional scale, for protection of people and critical infrastructures against such threats and their consequences. Within this context, in prediction of hazards and to support the activities for minimizing their results, the sort of new Information Technology achievements and solutions may be a useful aid. In the paper, the Web-Based Geographic Information System for assessment and visualization of CIs and its hazards is presented. The system allows storing, integration, processing, analysis and visualisation of spatial data on Gdańsk city area, including different CI sectors. The system is accessible remotely for an authorised user, from the Web browser level. The tool for entering the CI data to the system is implemented as the analysis module based on the CARVER2™ technology. It assumes comparison of different CI types using the same set of criteria, like criticality, accessibility, recoverability or susceptibility for different threats. Spatial data entered to the system may be processed by a set of spatial analysis procedures with respect to various threats, for instance, detection of hazard zone for a blast or chemical attack, or localisation the area affected or threaten by flood or leak, using the data on localisation, amount and speed of the leak, digital elevation model (DEM) as well as the liquid mass absorption and movement model. System offers also other tools for processing and analysis of spatial data, like spatial interpolation by inverse distance or spline methods.

Presented GIS can be integrated with satellite imagery data. The main source of satellite imagery will be 1.5-m L-Band Metop-HRTP Satellite Ground Station and the EUMETCast system.

It is very important to obtain the data from different satellite platforms, as different threats can be detected by different sensors. Some processing techniques and data delivery mechanisms, developed by European Space Agency, like Service Support Environment are discussed, since SSE can be very useful in obtaining satellite data from other satellites sources. Examples of threats which can be detected, by processing satellite imagery, are presented along with information about potential types of satellites, which may be practical in detecting particular threats.

The system is used by the Crisis Management Department of Gdańsk City Hall as a useful tool supporting CI protection against different types of threats.

Keywords: Geoinformatics, GIS, telemonitoring, critical infrastructures, satellite observations

Universal Decimal Classification: 528



