



Michał LUPA*, Andrzej LEŚNIAK*

Możliwości zastosowania narzędzi GIS do modelowania zbiorników wodnych

Streszczenie: Artykuł przedstawia możliwości budowy dwu- i trójwymiarowego, przestrzennego modelu zbiornika wodnego z wykorzystaniem narzędzi typu GIS. Zaprezentowane podejście pozwala na integrację danych pochodzących z różnych źródeł do jednego, spójnego modelu, stanowiącego interaktywną mapę obiektową projektowanego zbiornika. Dzięki takim rozwiązaniom możliwy staje się wielodostęp do mapy, poprzez aplikację typu WebGIS. Utworzone modele danych pozwolą wykonać przekroje poprzeczne terenu, umożliwiając wielowymiarowe analizy dyskryminacyjne na podstawie zebranej bazy wiedzy, której składowymi będą dane geodezyjne, geologiczne, a także geofizyczne i geostatystyczne. Ze względu na znaczną ilość napływających danych oraz mnogość formatów, w których będą one dostarczane, niezwykle istotną częścią projektu jest wypracowanie odpowiednich mechanizmów ich składowania. Ponadto wszystkie dane powinny posiadać współrzędne w jednakowym, przyjętym układzie współrzędnych. Zabiegi te pozwolą na uzyskanie przejrzystości i jednoznaczności danych, a także wygenerowanie mechanizmów wyszukiwania i raportowania, które w znacznym stopniu ułatwią proces zarządzania tak przygotowanym zbiorem danych.

Słowa kluczowe: GIS, modelowanie 3D, kartografia, WebGIS

The use of GIS tools for modeling water tanks

Abstract: This article introduces the possibility of building two- and three-dimensional spatial models of a mine flotation tailings reservoir, using GIS tools. The presented approach allows for the integration of data from different sources into a single, coherent model, which is an interactive object map of the designed tank. These solutions provide multiple ways of accessing the map using a WebGIS application. The created data models permit the generation of cross sections, as well as the performance of multidimensional discrimination analyses based on a compilation of accumulated knowledge including geodetic, geological, geophysical, and geo-statistical data. Because of the large amount of incoming data and the multitude of formats in which it is delivered, a very important part of the project is to develop appropriate mechanisms for data storage. In addition, all the data should employ an equivalent coordinate system. These procedures will result in

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: mlupa@agh.edu.pl, leniak@agh.edu.pl

transparent and unambiguous data, as well as search and report engines which will greatly facilitate the management of such a prepared data set.

Key words: GIS, 3D modeling, cartography, WebGIS

Wprowadzenie

Bazy danych przestrzennych odgrywają kluczową rolę w dzisiejszych systemach informatycznych, których podstawą jest przetwarzanie informacji geograficznej. Doprowadził do tego znaczący postęp technologiczny w dziedzinie kartografii cyfrowej, który sprawił, że znajduje ona obecnie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu (Lupa 2013; Gotlib 2009). W odpowiedzi na rosnące zapotrzebowania – szczególnie w obszarze narzędzi, które pozwalałyby na odpowiednią wizualizację, modelowanie i przetwarzanie danych przestrzennych – powstały Systemy Informacji Geograficznej (ang. *Geographic Information Systems* – GIS). Dane katalogowane dotychczas w formie analogowej (za pomocą map papierowych), zaczęto poddawać digitalizacji, co znacznie zwiększyło dostępność i użyteczność posiadanych zbiorów (Krawczyk 2011; Chrobak 2007). Zagadnienia prezentowane w artykule dotyczą możliwości konstrukcji kompleksowego, dedykowanego systemu, opartego na narzędziach i modułach systemu typu GIS, który umożliwi utworzenie modelu zbiornika wodnego (2D i 3D) na podstawie danych pochodzących z różnych źródeł (Pyrchla 2013; Rudowicz-Nawrocka 2013).

Zaprezentowany model GIS pozwala na integrację danych różnego typu, uzyskanych w wyniku przeprowadzonych badań geologicznych, geofizycznych, pomiarów geodezyjnych, a także modelowań geostatystycznych i numerycznych. Tak przygotowane modele danych pozwolą wykonać przekroje poprzeczne terenu, umożliwiając wykonanie wielowymiarowe analizy na podstawie zebranej bazy wiedzy. Autorzy przedstawili również możliwość konstrukcji aplikacji typu WebGIS, stanowiącą warstwę prezentacji systemu. Dzięki temu model oraz wyniki analiz dostępne będą w postaci cyfrowych map udostępnianych w sieci, to zaś ułatwi zarządzanie oraz zapewni wielodostęp do prezentowanych zbiorów danych (Parkitny 2013; Nering 2013).

1. Koncepcja systemu pozwalającego na tworzenie i zarządzanie danymi GIS

1.1. Baza danych przestrzennych

Koncepcja systemu, pozwalającego na składowanie i wizualizację informacji niezbędnych w procesie tworzenia modelu zbiornika wodnego wymaga zastosowania bazy danych, umożliwiającej nie tylko gromadzenie danych opisowych (numeryczne, tekstowe), ale także informacji o geometrii przechowywanych obiektów. Ponadto zastosowane oprogramowanie musi spełniać wysokie wymagania dotyczące niezawodności, bardzo niskiej awaryjności, bezpieczeństwa oraz wydajności. Docelowo baza stanowić będzie swego rodzaju hurtownię danych, zasilaną zbiorem baz danych relacyjnych, przechowujących dane o znacznych

rozmiarach. Dane te uzyskane będą w wyniku pomiarów terenowych (geodezyjnych, geologiczno-inżynierskich, czy geofizycznych), które dostarczane będą bardzo często w różnych formatach (przeważnie tekstowych), dlatego należało uwzględnić mechanizmy standaryzacji, a także słowniki danych. Poza danymi tekstowymi, w bazie składowane będą również dane przestrzenne (wektorowe i rastrowe), a także dane multimedialne (pochodzące z badań termowizyjnych). Ponadto każdy rodzaj danych powinien nieść ze sobą informację przestrzenną (współrzędne X, Y, Z, zorientowane w odpowiednim układzie współrzędnych). Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego oraz doświadczeń i wiedzy własnej autorów zdecydowano, że wybrane rozwiązania muszą posiadać mechanizmy umożliwiające natywne połączenie pomiędzy bazą a serwerem GIS. Wdrożona i administrowana w ten sposób baza danych przestrzennych będzie niezwykle cennym źródłem danych, dzięki którym możliwe stanie się tworzenie dwu- i trójwymiarowych modeli danych. Odpowiednio przetworzone dane będą podstawą przeprowadzanych analiz, łącząc dane pochodzące z różnych pomiarów z danymi przechowującymi informacje o geometrii i powierzchni projektowanego zbiornika. Strukturę bazy danych tworzą dwa główne modele – model 2D oraz model 3D. Co więcej, model 3D zasilany jest również obiektami dwuwymiarowymi (model 2D).

1.2. Wybór oprogramowania oraz etapy prac projektowych

Po analizie rozwiązań dostępnych na rynku zdecydowano się na wybór oprogramowania SZBD Microsoft SQL Server 2012, gdyż pozwala ono na połączenie z serwerem GIS – ArcGIS Server 10.2, poprzez wykorzystanie mechanizmu ArcSDE. Aplikację WebGIS utworzono z wykorzystaniem technologii MS Silverlight wraz z ArcGIS API for Silverlight.

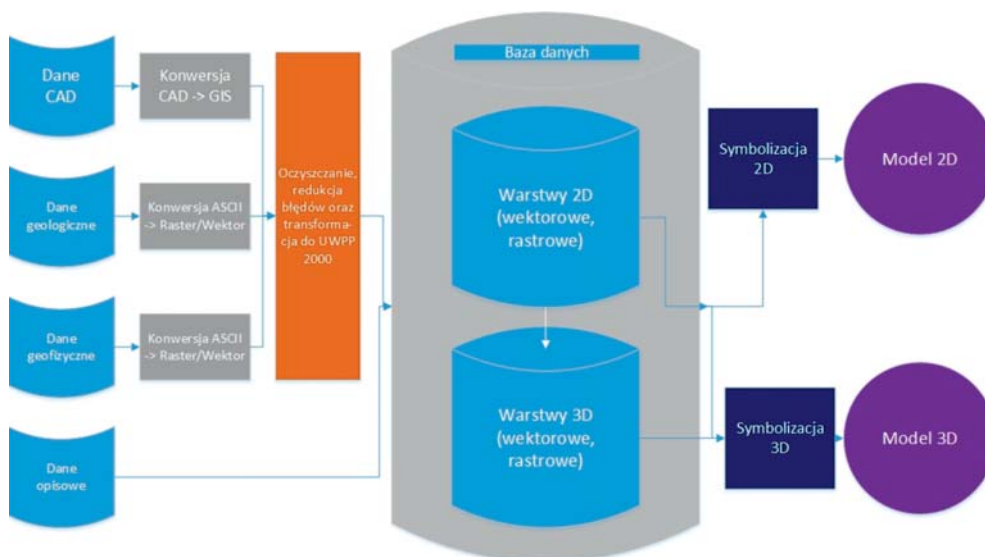
W dalszej części artykułu przedstawione zostaną etapy pracy oraz problemy, które należało rozwiązać w trakcie tworzenia i implementacji geobazy, a także mapy obiektowej. Autorzy opisują je z perspektywy wytwórcy systemu, pomijając kwestie związane z akwizycją danych, które miały zasilić model.

1.3. Model GIS 2D

Model GIS zasilany jest danymi napływającymi z różnych źródeł: pomiary geodezyjne i wywiad terenowy, metody geofizyczne, wiercenia i sondowania hydrogeologiczne. Ponadto dane te dostarczane są często w różnych, właściwych dla siebie formatach oraz układach współrzędnych, co skutecznie utrudnia ich integrację. Całość powinna przyjąć postać uporządkowanej mapy obiektowej, na którą składają się obiekty pogrupowane w warstwy tematyczne, wraz z odpowiednią symbolizacją, ułatwiającą percepcję.

Głównym założeniem modelu GIS 2D podczas projektowania zbiornika wodnego jest wspomaganie prac związanych z zagospodarowaniem przestrzennym terenu przeznaczanego pod budowę, tak aby ułatwić przeprowadzenie analiz urbanistycznych. Model ten powinien ponadto posiadać wszystkie właściwości mapy projektowej (model CAD), pozwalając jednocześnie na nadanie unikalnego identyfikatora każdemu z wizualizowanych obiektów. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie analiz i konstrukcji map tematy-

czynnych, które bazują na topologii – analizy sąsiedztwa, mapy odległościowe, wyznaczanie najdogodniejszego położenia w terenie. Znacznie ułatwiony zostaje również proces obserwacji dynamicznie zachodzących zjawisk oraz przygotowanie raportów postaci map. Schemat budowy bazy danych oraz modeli GIS przedstawiono na rysunku 1.



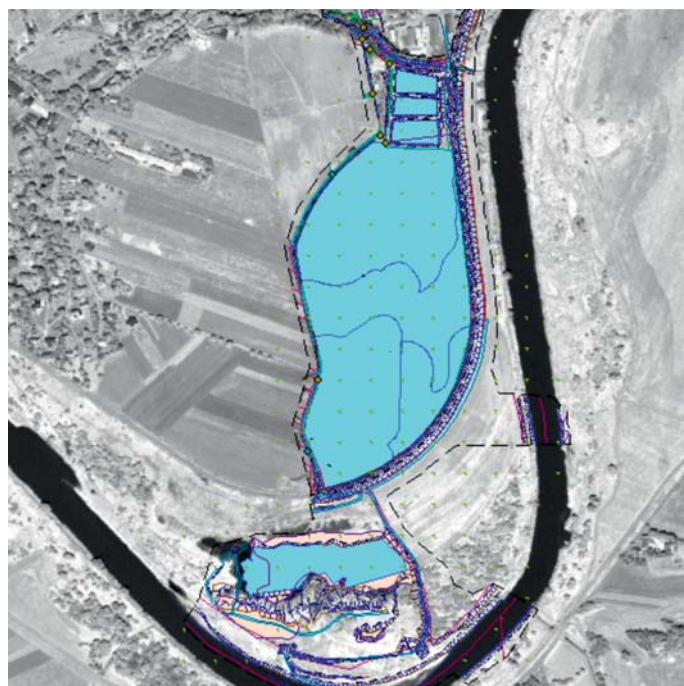
Rys. 1. Schemat zasilania bazy danych i tworzenia modeli GIS

Fig. 1. The scheme of database feeding and GIS modelling

1.4. Model GIS 3D

Trójwymiarowy model terenu generowany jest na podstawie bazy danych przestrzennych, która prócz danych geologicznych, zasilana jest również przez obiekty tworzące model 2D (rys. 1). Dzięki takiemu rozwiązaniu osiągnięto interoperacyjność, a także możliwość spójnej edycji danych. Niemniej jednak, model 3D, który właściwie obrazowałby powierzchnię i podłoże terenu jest skomplikowany. Co więcej, podobnie jak w przypadku modelu dwuwymiarowego, pierwszy etap prac obejmował konwersję danych CAD do formatu GIS (2D shapefile). Po nadaniu obiektom odniesienia przestrzennego oraz ujednoczeniu ich topologii i geometrii, należało wzbogacić je o informację na temat ich położenia w płaszczyźnie pionowej. Zabieg ten umożliwił odpowiednie wyświetlanie obiektów w przestrzeni 3D, a co za tym idzie, model części zbiornika mógł zostać przedstawiony w bardziej realistycznej formie. Powierzchnia terenu wygenerowana została na podstawie punktów pomiarowych, które uzyskano w wyniku prac geodezyjnych. Punkty te pierwotnie przedstawione zostały w postaci mapy projektowej (CAD).

Każdy z pomiarów posiadał współrzędne X,Y oraz wysokość nad poziomem morza, która przedstawiona była w formie etykiety (brak jednoznacznego przypisania warstwy opisowej CAD do obiektów w modelu GIS). Wysokości w takiej formie należało przekonwertować na wartości, które przypisane były do każdego ID w tabeli punktów pomia-



Rys. 2. Przykład widoku modelu 2D nałożonego na ortofotomapę

Fig. 2. An example of a 2D model view imposed on the orthophotomap

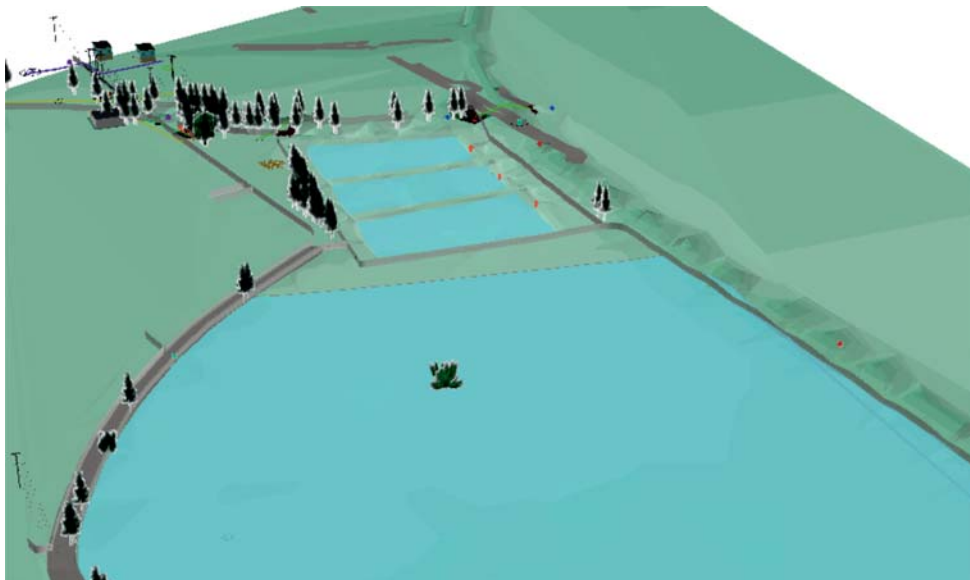
rowych bazy danych przestrzennych. Tak przygotowane dane były źródłem modelu powierzchni terenu, utworzonego w dwóch wariantach. Pierwszym z nich był model TIN, który przybliżył powierzchnię siatką trójkątów. Wariant drugi skonstruowano, opierając się na metodzie geostatystycznej – krigingu, która pozwalała na interpolację wartości pomiędzy punktami pomiarowymi. Modele te można stosować zamiennie, ponieważ każdy z nich posiada właściwe dla siebie niedociągnięcia, z uwagi na gęstość siatki pomiarowej. Na model powierzchni terenu naniesione zostały elementy przyrody nieożywionej, roślinność (drzewa, krzewy), a także obiekty infrastruktury drogowej i technicznej, wraz z zabudową. Widok powierzchni terenu w modelu 3D obrazują rysunki 3 i 4. Wykorzystując możliwości oprogramowania ArcGIS 3D Analyst oraz dane geologiczno-inżynierskie i geofizyczne, przygotowany zostanie trójwymiarowy model wału, a także wytyczonego wokół obszaru, bazując na kombinacji danych pochodzących z sondowań, wierceń lub przekrojów geologicznych.

Model 3D obejmuje również podłoże terenu wokół zbiornika, które zostało rozpoznane na podstawie badań geofizycznych oraz geologiczno-inżynierskich. Podobnie, jak w przypadku modelu CAD, dane te należało sprowadzić do wspólnego układu współrzędnych, a także ujednolicić i odszumić. Siatka wierceń stanowiła bazę do modelowania otworów w przestrzeni trójwymiarowej, z zaznaczeniem miąższości warstw utworów geologicznych. Naniesione zostały również granice sejsmiczne, które – podobnie, jak w przypadku powierzchni terenu – zwizualizowane zostały za pomocą TIN oraz metod geostatystycznych. Wiercenia i sondowania, przedstawione w postaci przybliżonych rastrów oraz trójwy-



Rys. 3. Przykład widoku modelu 3D zbiornika

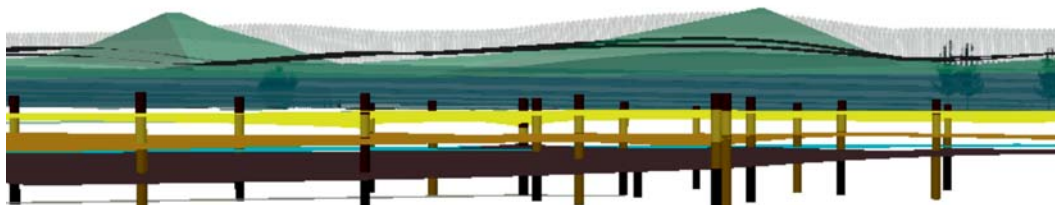
Fig. 3. Sample view of 3D GIS model of tank



Rys. 4. Przykładowy widok modelu GIS 3D zbiornika

Fig. 4. Sample view of 3D GIS model of tank

miarowych modeli odwiertów, zestawione zostały z wynikami prac geofizycznych w oprogramowaniu ArcScene. Operacja ta pozwoliła dokładnie określić budowę geologiczną wraz z miąższością kolejnych warstw, w obszarze budowy zbiornika. Wizualizację podłoża przedstawiono na rysunku 5.

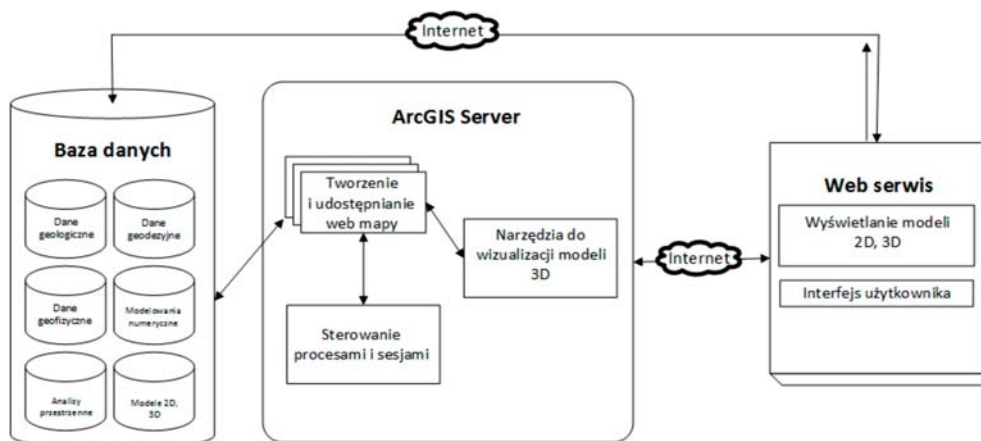


Rys. 5. Model 3D otworów oraz przykładowych stropów warstw geologicznych podłoża

Fig. 5. 3D Model of holes and sample ceilings geological layers of the substrate

2. Udostępnianie map w sieci

Dostęp do map, analiz, atrybutów poszczególnych obiektów, czy warstw geologicznych jest kluczowy w przypadku równoległej pracy różnych zespołów; zdecydowano na udostępnienie zgromadzonych danych w sieci komputerowej za pomocą aplikacji typu WebGIS. Aplikacja ta udostępnia dane wektorowe i rastrowe w postaci interaktywnej mapy, wraz z narzędziami administracyjnymi, pozwalającymi na tworzenie dynamicznych wydruków. Stanowi ona warstwę prezentacji, w trójwarstwowym systemie, zaprojektowanym na potrzeby projektu. Ponadto warstwę danych stanowi MS SQL Server 2012, który zasila ArcGIS Server, odpowiedzialny za zarządzanie, przetwarzanie i udostępnianie REST-owych serwisów w sieci. Uproszczony schemat systemu zaprezentowano poniżej (rys. 6). Modele danych, wyniki analiz oraz mapy będą opublikowane za pomocą serwisów mapowych



Rys. 6. Schemat trójwarstwowego systemu WebGIS

Fig. 6. The schema of three-tier system

typu REST, pozwalających na dynamiczne wyświetlanie i przetwarzanie zarówno danych wektorowych, jak i rastrowych po stronie przeglądarki internetowej. Możliwe jest również konstruowanie zapytań geoprzestrzennych oraz tekstowych, interakcja z danymi. ArcGIS Server 10.2 posiada również API, które w znacznym stopniu ułatwia implementację aplikacji mapowych.

Podsumowanie

Artykuł przedstawia możliwości wykorzystania narzędzi GIS w procesie tworzenia dwu- i trójwymiarowego modelu zbiornika wodnego. Zaprezentowane zostały również techniki integracji danych, konwersje modeli projektowych CAD do postaci GIS, a także proces ich symbolizacji. Opisano również architekturę systemu archiwizacji i prezentacji danych za pomocą technik WebGIS. Metody te pozwalają znacznie uprościć zarządzanie dużym zbiorem danych przestrzennych, otrzymanych w wyniku pomiarów geologicznych lub geodezyjnych, zapewniając jednocześnie wielodostęp oraz wysokiej jakości narzędzia analityczne. Ponadto zaproponowane rozwiązania mogą być szczególnie atrakcyjne dla przemysłu górniczego, znajdując zastosowanie w procesie projektowania i monitorowania zbiorników odpadów poflotacyjnych.

Praca współfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu ISMOP, nr AGH 19.19.140.86430

Literatura

- [1] Chrobak, T., Keller, S.F., Koziół, K., Szostak, M. i Żukowska, M. 2007. *Podstawy cyfrowej generalizacji kartograficznej*. Pod redakcją Tadeusza Chrobaka. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH.
- [2] Gotlib, D. 2009. *Baza danych jako podstawa produkcji map topograficznych*. Główne problemy współczesnej kartografii: Bazy danych w kartografii, Uniwersytet Wrocławski.
- [3] Krawczyk, A. 2009. Próba systematyki zapisu atrybutów i topologii obiektów geometrycznych w systemach informacji geograficznej. *Studia Informatica* vol. 32, N. 2B (97), s. 189–201.
- [4] Lupa, M., Sarlej, W., Piórkowski, A. i Krawczyk, A. 2013. Wykorzystanie metod morfologii matematycznej w procesie generalizacji baz danych przestrzennych. *Studia Informatica* vol. 34, N. 2B (112), s. 21–36.
- [5] Nering, K. 2013. Public geospatial data sources. *Geoinformatica Polonica* 12:2013, PAU Kraków, s. 63–72.
- [6] Parkitny, Ł., Lupa, M., Materek, K., Inglot, A., Pałka, P., Mazur, K., Koziół, K. i Chuchro, M. 2013. Koncepcja i opracowanie geoportalu AGH. *Roczniki Geomatyki* t. XI, z. 3(60), s. 79–87.
- [7] Pyrchla, J. i Kowalewski, M. 2013. Integracja danych topograficznych, nawigacyjnych, hydrodynamicznych i meteorologicznych w morskiej strefie przybrzeżnej za pomocą mapy hybrydowej. *Roczniki Geomatyki* 2012, t. X, z. 3(53), s. 107–117.
- [8] Rudowicz-Nawrocka, J. i Woźniak, M. 2012. Zastosowanie SyMaP do tworzenia bazy danych przestrzennych fortyfikacji. *Roczniki Geomatyki* t. X, z. 3(53), s. 118–124.