

**GENERALIZACJA DANYCH SYTUACYJNYCH I WYSOKOŚCIOWYCH
ZGROMADZONYCH W REFERENCYJNYCH BAZACH DANYCH
PRZESTRZENNYCH TBD I VMAP - KONCEPCJA I STUDIUM REALIZACJI**

**GENERALISATION OF REFERENCE SPATIAL DATA
CONCEPT AND IMPLEMENTATION STUDY**

Robert Olszewski¹ Arkadiusz Kołodziej² Miłosz Gnat³

¹Zakład Kartografii, Politechnika Warszawska

²Polkart Sp. z o. o., Warszawa

²PPWK SA, Warszawa

SŁOWA KLUCZOWE: generalizacja danych przestrzennych, modele DLM i DCM

STRESZCZENIE: Jednym z zagadnień realizowanych w projekcie celowym 6 T 12 2005C/06552 „Metodyka i procedury integracji, wizualizacji, generalizacji i standaryzacji baz danych referencyjnych dostępnych w zasobie geodezyjnym i kartograficznym oraz ich wykorzystanie do budowy baz tematycznych” jest uogólnianie informacji geograficznej zgromadzonej w referencyjnych bazach danych sytuacyjnych i wysokościowych: TBD, VMap L2, VMap L2+, LPIS i SMOK. Zadanie to złożone jest z kilku autonomicznych projektów:

- Zasilanie bazy danych o dokładności geometrycznej odpowiadającej opracowaniom w skali 1: 250 000 danymi TBD, VMap L2 i VMap L2+,
- Generalizacja modelu DLM (redukcja złożoności geometrycznej) danych przestrzennych zgromadzonych w komponencie TOPO Bazy Danych Topograficznych,
- Generalizacja danych przestrzennych zgromadzonych w bazach danych wysokościowych TBD (komponent NMT), LPIS i SMOK z zachowaniem istotnych relacji topologicznych.

1. WPROWADZENIE

Pomimo coraz powszechniejszego stosowania narzędzi informatycznych procesu generalizacji nie można traktować jako mechanicznej procedury sekwencyjnego stosowania deterministycznych reguł upraszczania geometrycznego, lecz jako proces poznania rzeczywistości geograficznej i jej opisu na różnych poziomach uogólnienia. R. Weibel (1995) w rozprawie „Amplified intelligence and rule-base system” zaproponował koncepcję generalizacji definiowaną jako „proces oparty na zrozumieniu”. Istotą generalizacji w tym ujęciu nie jest analiza struktury graficznej elementów występujących na mapie, lecz poznanie struktury obiektów i zjawisk geograficznych, które są pierwowzorem modelu kartograficznego. Zrozumienie semantycznej istoty obiektów i zjawisk reprezentowanych w bazie danych przestrzennych oraz łączących je relacji pozwala na poprawne modelowanie fragmentu przestrzeni geograficznej na dowolnie zdefiniowanym poziomie uogólnienia.

W literaturze przedmiotu często stosowanym wyróżnieniem jest także podział procesu uogólniania danych przestrzennych na tzw. generalizację kartograficzną (ang. *cartographic generalization*) i generalizację modelu (ang. *model generalization*). Rozróżnienie to wynika z przyjęcia idei dyferencjacji baz danych przestrzennych od opracowań kartograficznych. W podejściu tym wyróżnia się dwa odmienne modele danych przestrzennych: numeryczny model krajobrazu – DLM (ang. *digital landscape model*), i numeryczny model kartograficzny – DCM (ang. *digital cartographic model*). Baza danych budowana w oparciu o model DLM zawiera rzeczywiste położenie obiektów. Model DCM powstaje poprzez resymbolizację i redakcję danych zgromadzonych w bazach danych przestrzennych. Z jednej bazy danych numerycznego modelu krajobrazu można opracować wiele numerycznych modeli kartograficznych, zróżnicowanych pod względem przeznaczenia, skali i metod prezentacji. Istotą tego zróżnicowania jest odmienność przeznaczenia. Dane z modelu DLM zasilają systemy GIS zorientowane na prowadzenie analiz przestrzennych, zaś dane z modelu DCM – systemy produkcji map.

Klasyczny proces generalizacji kartograficznej zorientowany jest na czytelność przekazu graficznego (ang. *display-oriented*). W podejściu tym dopuszczalne, a nawet niezbędne, są przesunięcia, przewiększenia i obroty elementów mapowych, ich wyglądzenie, zmiana reprezentacji graficznej itp. Celem generalizacji DLM (generalizacji modelu) jest opracowanie pochodnej bazy danych przestrzennych, zasilającej systemy GIS wykorzystujące dane uogólnione. Generalizacja modelu jest zatem zorientowana na prowadzenie wiarygodnych analiz przestrzennych (ang. *analysis-oriented*) na danym poziomie uogólnienia pojęciowego. W generalizacji modelu stosowane są wyłącznie operatory eliminacji, uproszczenia i agregacji danych przestrzennych. Istotą tego podejścia jest zachowanie rzeczywistego położenia obiektów topograficznych, ich cech geometrycznych oraz wzajemnych relacji topologicznych. Celem generalizacji modelu jest bowiem opracowanie pochodnej bazy danych przestrzennych, zasilającej systemy GIS wykorzystujące dane uogólnione.

Jednym z zagadnień realizowanych w projekcie 6 T 12 2005C/06552 „Metodyka i procedury integracji, wizualizacji, generalizacji i standaryzacji baz danych referencyjnych dostępnych w zasobie geodezyjnym i kartograficznym oraz ich wykorzystanie do budowy baz tematycznych” jest uogólnianie informacji geograficznej zgromadzonej w referencyjnych bazach danych sytuacyjnych i wysokościowych: TBD, VMap L2, VMap L2+, LPIS i SMOK. Zagadnienie to realizowane jest jako generalizacja bazodanowa (generalizacja modelu DLM). Zadanie to złożone jest z kilku autonomicznych projektów:

- Zasilanie bazy danych o dokładności geometrycznej odpowiadającej opracowaniom w skali 1: 250 000 danymi TBD, VMap L2 i VMap L2+,
- Generalizacja modelu DLM (redukcja złożoności geometrycznej) danych przestrzennych zgromadzonych w komponencie TOPO Bazy Danych Topograficznych,
- Generalizacja danych przestrzennych zgromadzonych w bazach danych wysokościowych TBD (komponent NMT), LPIS i SMOK z zachowaniem istotnych relacji topologicznych.

Wszystkie wymienione projekty realizowane są w środowisku narzędziowym ESRI z wykorzystaniem platformy ArcGIS, komponentów ArcObjects oraz własnych bibliotek programistycznych. Interfejs programu ma formę kreatora. W poszczególnych krokach użytkownik określa dane wejściowe, parametry sterujące algorytmem generalizacji, dane wyjściowe. Procesy realizowane na kolejnych etapach są opisywane i ewaluowane

niezależnie. Istotnym elementem każdego z wymienionych systemów jest zdefiniowanie i utrzymywanie w procesie generalizacji relacji topologicznych pomiędzy poszczególnymi obiektami i klasami obiektów. Opracowywane narzędzia mają charakter generyczny, sterowanie procesem uogólniania danych przestrzennych realizowane jest za pomocą łatwo modyfikowalnych, zewnętrznych wobec silnika obliczeniowego aplikacji, plików parametrycznych. W procesie generalizacji uwzględniana jest znaczna liczba kryteriów w wielo cechowej analizie danych źródłowych.

2. ZASILANIE BAZY DANYCH BDO250 DANYMI TBD I VMAP L2+

Celem realizacji tego zadania było opracowanie koncepcji oraz narzędzi informatycznych umożliwiających:

- konwersję danych geometrycznych i opisowych pomiędzy bazą danych TBD oraz VMap L2+ (nowej edycji) a Bazą Danych Ogólnogeograficznych.
- częściową generalizację danych wynikowych osadzonych w strukturze BDO250 z uwzględnieniem zachowania relacji topologicznych pomiędzy poszczególnymi obiektami i klasami obiektów.

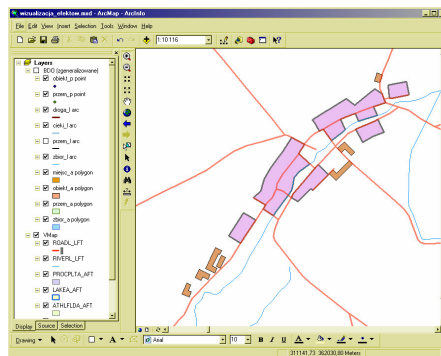
Realizacja tak określonego zadania pozwala na częściową automatyzację procesu zasilania i aktualizacji Bazy Danych Ogólnogeograficznych aktualnymi danymi referencyjnymi o dużej dokładności geometrycznej. Ze względu na dużą różnicę poziomu skalowego opracowań pełna automatyzacja procesu generalizacji nie jest możliwa. Istotnym elementem utworzonego systemu jest jednak opracowanie silnika obliczeniowego umożliwiającego konwersję danych pomiędzy bazami danych o skrajnie różnym modelu pojęciowym. Silnik ten jest niezależny od struktury zarówno źródłowej, jak i docelowej bazy danych przestrzennych. Proces konwersji sterowany jest za pomocą łatwo konfigurowalnych zewnętrznych plików parametrycznych w formacie tekstowym. Umożliwia to proste dostosowanie aplikacji do dowolnie określonego modelu bazy danych bez konieczności modyfikacji kodów źródłowych.

Równie istotnym czynnikiem jest zdefiniowanie i utrzymywanie w procesie transformacji oraz generalizacji relacji topologicznych pomiędzy poszczególnymi obiektami i klasami obiektów. Pozwala to, kosztem wydłużenia czasu działania procedur obliczeniowych, na zachowanie poprawnej topologicznie struktury danych wynikowych w Bazie Danych Ogólnogeograficznych.

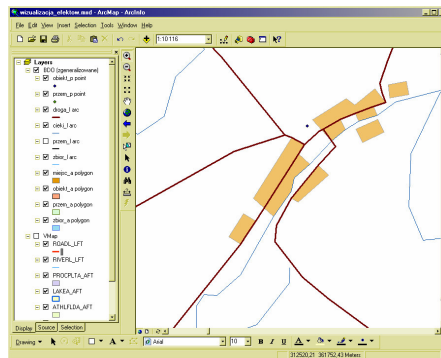
Algorytm działania aplikacji eksportującej dane TBD do struktury BDO z częściową generalizacją:

- Z danych wejściowych – warstw Bazy Danych Topograficznych zapisanych w formacie geobazy personalnej ESRI – wybierane są wskazane przez użytkownika dane.
- Kryteria wyboru, oraz nazwy zbiorów do których dane zostaną skierowane określone są w zewnętrznych plikach konfiguracyjnych *.bdo (format tekstowy).
- Dla każdej z takich kombinacji w tymczasowej geobazie generowany jest zbiór z danymi pośrednimi (*feature class*).
- Dane w formacie geobazy są eksportowane do danych w formacie ESRI coverage.
- Selekcja obiektów wg kryterium ich rozmiaru – usunięte zostają zbyt małe poligony i zbyt krótkie linie (z zachowaniem struktury sieciowej obiektów).

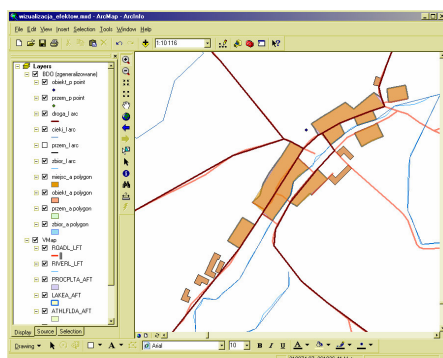
- Obiekty geometryczne ze wszystkich warstw są łączone w jednym zbiorze o geometrii liniowej. Ten zbiór jest materiałem do generalizacji geometrycznej.
- W celu identyfikacji pochodzenia każdego z obiektów po scaleniu generowane są punkty – centroidy odcinków. Punkty te przecinane są z warstwami wejściowymi. Powstają warstwy, które są wzorcem do późniejszej dystrybucji danych zgeneralizowanych do warstw wyjściowych. Każdy rekord warstwy pomocniczej ma przypisaną informację o tym, z jakiej warstwy pochodzi i jakiego obiektu jest częścią.
- Zbiór scalonych danych jest poddawany generalizacji geometrycznej opartej o algorytm Douglas'a – Peucker'a lub algorytm Wanga z określonymi przez użytkownika parametrami.
- Uogólnione dane są dystrybuowane do warstw macierzystych z użyciem tabel sterujących na warstwy wyjściowe.



dane wejściowe



dane uogólnione



złożenie

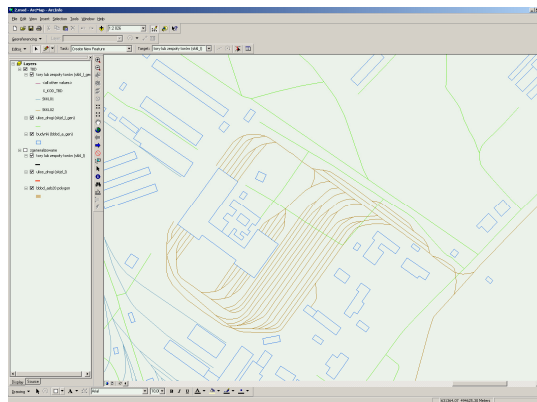
3. REDUKCJA ZŁOŻONOŚCI GEOMETRYCZNEJ DANYCH PRZESTRZENNYCH ZGROMADZONYCH W KOMPONENCIE TOPO BAZY DANYCH TOPOGRAFICZNYCH

Celem realizacji tego zadania było opracowanie koncepcji oraz narzędzi umożliwiających częściową generalizację danych przestrzennych osadzonych w strukturze Bazy Danych Topograficznych z uwzględnieniem zachowania relacji topologicznych pomiędzy poszczególnymi obiektami i klasami obiektów. Realizacja tak określonego zadania pozwala na częściową automatyzację procesu generalizacji komponentu TOPO referencyjnej bazy danych TBD. Istotnym elementem silnika obliczeniowego aplikacji jest umożliwienie jednoczesnego przetwarzania dowolnego, zdefiniowanego przez użytkownika, zestawu danych wejściowych. Pozwala to na uniknięcie w procesie generalizacji danych przestrzennych powstawania konfliktów topologicznych pomiędzy poszczególnymi obiektami i klasami obiektów. Procedury obliczeniowe zastosowane w opracowanym systemie informatycznym bazują na standardowych algorytmach generalizacji (Douglasa-Peuckera i Wanga) zaimplementowanych w środowisku narzędziowym ESRI. Otwarta architektura utworzonego systemu pozwala jednak na dalszą rozbudowę aplikacji.

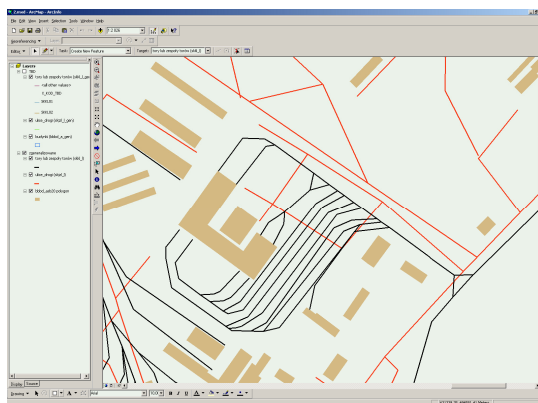
Algorytm aplikacji generalizującej dane komponentu TOPO Bazy Danych Topograficznych:

- Z danych wejściowych – warstw Bazy Danych Topograficznych zapisanych w formacie geobazy personalnej ESRI – wybierane są wskazane przez użytkownika dane.
- Dane te są eksportowane do formatu ESRI *coverage*. Dla zachowania odpowiedniej precyzji obliczeniowej eksport ten odbywa się z przejściem przez pośrednie zbiory w formacie *shape*.
- W ramach realizacji procesu eksportu nazwy pól geobazy są mapowane do nazw tymczasowych. Schemat mapowania jest zapisywany w osobnej tabeli w bazie docelowej.
- Dane z warstw *coverage* są wstępnie upraszczane. Na tym etapie dokonywana jest selekcja obiektów według ustalonych przez użytkownika kryteriów geometrycznych

- np. eliminacja zbyt małych poligonów czy zbyt krótkich linii (z zachowaniem topologii sieci).
- Obiekty geometryczne ze wszystkich warstw są łączone w jednym zbiorze o geometrii liniowej. Ten zbiór jest materiałem do generalizacji geometrycznej.
 - W celu identyfikacji pochodzenia każdego z obiektów po scaleniu generowane są punkty – centroidy odcinków. Punkty te przecinane są z warstwami wejściowymi. Powstają warstwy, które są wzorcem do późniejszej dystrybucji danych uogólnionych do warstw wyjściowych. Każdy rekord takiej warstwy pomocniczej ma przypisaną informację o tym, z jakiej warstwy pochodzi i jakiego obiektu jest częścią.
 - Z zewnętrznego pliku parametrycznego w formacie tekstowym pobierane są informacje istotne dla procesu generalizacji. Istotne jest bowiem zachowanie relacji topologicznych istniejących pomiędzy obiektami z niektórych warstw.
 - Na tym etapie realizowana jest także procedura upraszczania geometrycznego obiektów z wykorzystaniem zaimplementowanych w środowisku narzędziowym ESRI algorytmów Douglasa-Peuckera (POINTREMOVE) lub Wanga (BENDSIMPLIFY).
 - Zgeneralizowane dane redystrybuowane są z użyciem tabel sterujących na warstwy wyjściowe w formacie coverage.
 - Dane w formacie coverage są eksportowane do warstw geobazy personalnej ESRI. (podobnie jak w pkt. 1 procedura realizowana jest dwuetapowo z wykorzystaniem pośredniego formatu shape).
 - W czasie tego procesu odtwarzane są właściwe nazwy pól (na podstawie informacji zawartych w tabeli ze schematem mapowania pól).



dane
wejściowe



dane
uogólnione

4. GENERALIZACJA DANYCH PRZESTRZENNYCH ZGROMADZONYCH W BAZACH DANYCH WYSOKOŚCIOWYCH Z ZACHOWANIEM RELACJI TOPOLOGICZNYCH POMIĘDZY ELEMENTAMI STRUKTURALNYMI RZEŻBY TERENU

Celem realizacji tego zadania było opracowanie koncepcji oraz narzędzi informatycznych umożliwiających:

- tworzenie poprawnego topologicznie numerycznego modelu terenu zapisanego w strukturze TIN na podstawie plików zawierających dane pomiarowe zgromadzone w ramach realizacji projektów TBD, LPIS i SMOK.
- generalizację danych wysokościowych (numerycznego modelu terenu w formacie TIN utworzonego na podstawie bezpośrednich danych pomiarowych) z uwzględnieniem zachowania relacji topologicznych pomiędzy elementami strukturalnymi rzeźby terenu.

Realizacja tak określonego zadania pozwala na częściową automatyzację procesu generalizacji komponentu NMT referencyjnej bazy danych TBD lub danych wysokościowych zgromadzonych na potrzeby realizacji innych projektów, np. LPIS lub SMOK (system osłony przeciwpowodziowej kraju). Opracowany system informatyczny umożliwia bardzo precyzyjne modelowanie danych wysokościowych i opracowanie na podstawie danych źródłowych modelu TIN o określonej dokładności geometrycznej. Aplikacja umożliwia także zachowanie kontroli nad stopniem uogólnienia form strukturalnych rzeźby terenu poprzez dobór parametrów generalizacji. Dobór parametrów i określenie ich wartości realizowane jest poprzez zewnętrzne wobec silnika obliczeniowego pliki konfiguracyjne w postaci tekstowej.

Przyjęto, iż dla budowy hierarchicznego (wieloskalowego) NMT na podstawie uogólnienia istotnych form morfologicznych, szczególne znaczenie ma poprawne wyznaczenie linii strukturalnych tworzących „szkielet” topograficzny terenu. Przeprowadzone badania wskazują, iż za uzasadnioną należy uznać konieczność

pozyskiwania linii strukturalnych rzeźby terenu w procesie pomiaru bezpośredniego, np. wykorzystując techniki fotogrametryczne na etapie pozyskiwania danych źródłowych bazy TBD lub projektu LPIS. Na podstawie tak wyznaczonego "szkieletu terenu" możliwa jest poprawna generalizacja modelu rzeźby zachowująca zarazem istotne relacje topologiczne. W ujęciu tym podstawowa struktura terenu (linie strukturalne) wyznaczana jest na etapie opracowywania danych pomiarowych, nie zaś na podstawie analizy realizowanej w trybie postprocessingu proponowanej przez de Florianii et al. (2002).

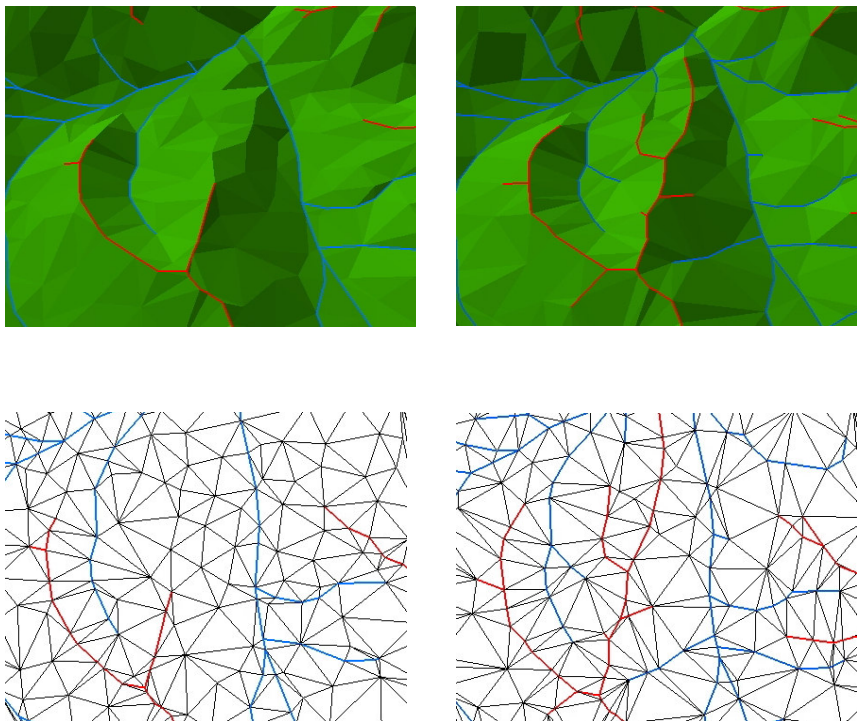
Proponowana koncepcja budowy modelu hierarchicznego w strukturze TIN poprzez iteracyjne usuwanie punktów z modelu źródłowego łączy w sobie elementy filtracji lokalnej i podejścia heurystycznego. Podstawą metody jest analiza, której wynikiem jest podział elementów źródłowych modelu na punkty strukturalne i masowe realizowany poprzez wyznaczenie linii strukturalnych terenu. W procesie generalizacji punkty usuwane są na podstawie łącznej oceny kilku kryteriów: ich istotności pionowej (wyznaczonej lokalnie), gęstości (istotności poziomej), a dla punktów strukturalnych także wagi linii strukturalnej oraz lokalnej krętości tej linii (wyznaczonej zarówno w poziomie jak i w pionie). Dobór istotności poszczególnych czynników jest w pełni sparаметryzowany, umożliwiając dowolne przypisywanie współczynników wagowych. Hierarchiczny (wieloskalowy) model rzeźby terenu może mieć monoskalową reprezentację na dowolnym, zdefiniowanym przez użytkownika, poziomie uogólnienia, zachowując jednocześnie istotną dla tego poziomu strukturę rzeźby.

Algorytm generalizacji numerycznego modelu terenu oparto na opracowaniu Olszewskiego (2005) oraz Olszewskiego et al. (2006) w postaci:

- W każdym kroku usuwany jest jeden, najmniej znaczący punkt modelu w oparciu o zmodyfikowany algorytm Hellera (1990),
- Istotność (waga) punktów obliczana jest jako różnica wysokości pomiędzy analizowanym punktem a średnią wysokością punktów sąsiednich (im mniejsza różnica tym mniejsze jest znaczenie danego punktu),
- Z modelu usuwane są tylko tzw. punkty masowe oraz punkty strukturalne nie będące punktami węzłowymi (początek i koniec linii). Oznacza to, że układ linii strukturalnych podlega tylko geometrycznym uproszczeniom.

Metoda ta pozwala zarazem na:

- Uwzględnienie kryterium wielocechowego przy ocenie istotności punktów modelu,
- Analizę relacji topologicznych pomiędzy elementami strukturalnymi rzeźby terenu,
- Umożliwienie eliminacji wybranych linii strukturalnych przy jednoczesnym zachowaniu topologii.



Fragment uogólnionego NMT typu TIN z rysunkiem nieregularnej siatki trójkątów

5. LITERATURA

Brassel K., Weibel R., 1988, A review and conceptual framework of automated map generalization, w: „International Journal of Geographical Information Systems”, 2 (3).

De Floriani L., Magillo P., 2002, Multiresolution Mesh Representation, w: „Models and Data Structures In Multiresolution in Geometric Modelling”, M.Floater and A.Iske and E.Quak editors, Springer-Verlag, s. 363-418, dostępne na stronie: www.disi.unige.it/person/DeflorianiL/publications.html

Gotlib D., Olszewski R., Kochman M., 2005, Numeryczny model terenu w systemie informacji topograficznej, w: A. Makowski (red.), System informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 171-184

Heller M., 1990, Triangulation Algorithms for Adaptive Terrain Modeling, materiały Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, vol. 1, s. 163-174

- Olszewski R., 2005, Generalizacja NMT, w: A. Makowski (red.), System informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 254-265
- Olszewski R., Kochman M., 2005, Wieloskalowe modelowanie rzeźby terenu. Część I, Polski Przegląd Kartograficzny, tom 37, nr 3, s. 171-185
- Olszewski R., Kochman M., 2005, Wieloskalowe modelowanie rzeźby terenu. Część II, Polski Przegląd Kartograficzny, tom 37, nr 4, s. 267-274
- Weibel R., 1995, Map generalization in the context of digital systems, Cartography and GIS, vol. 22, no. 4

GENERALISATION OF REFERENCE SPATIAL DATA CONCEPT AND IMPLEMENTATION STUDY

KEY WORDS: generalisation of spatial data, DLM and DCM models

SUMMARY: One of tasks of the Governmental Project 6 T 12 2005C/06552 "Methodology and procedures of integration, visualisation, generalisation and standardisation of reference databases, accessible in resources of surveying and cartographic data and their utilisation for development of thematic databases" is the generalisation of geographic information collected in reference databases of planimetric and elevation data: TBD, VMap L2, VMap L2+, LPIS and SMOK. This task is composed of several autonomous projects:

- Population of the database of geometric accuracy which corresponds to scales of 1: 250 000 with TBD, VMap L2 and VMap L2+ data, - Generalisation of the DLM model of spatial data collected in the TOPO component of the Topographic Database (reduction of geometric complexity), - Generalisation of spatial data collected in elevation databases of the TBD (NMT component), LPIS and SMOK, maintaining important topological relations.

dr Robert Olszewski
e-mail: r.olszewski@gik.pw.edu.pl

mgr inż. Arkadiusz Kołodziej
e-mail: arkadiusz.kolodziej@polkart.waw.pl