

## WYZNACZENIE PUNKTÓW STAŁYCH OBIEKTÓW PRZESTRZENNYCH NA DRODZE AUTOMATYCZNEJ

### AUTOMATIC DETERMINATION OF SPATIAL OBJECTS' INVARIANT POINTS

Krystian Koziol<sup>1</sup>, Stanisław Szombara<sup>1,2</sup>, Jolanta Knecht<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Geomatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

<sup>2</sup> Instytut Inżynierii Technicznej, Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna  
im. ks. Bronisława Markiewicza w Jarosławiu

SŁOWA KLUCZOWE: automatyzacja, DLM, generalizacja kartograficzna, linia brzegowa, MRDB, punkty stałe obiektu, redukcja punktów, upraszczanie, generalizacja jednoznaczna

STRESZCZENIE: W pracy zaprezentowano algorytm służący do wyznaczania punktów stałych obiektów przestrzennych na przykładzie fragmentu linii brzegowej obszaru Wielkiej Brytanii. Punkty stałe (osnowa kartograficzna) zostały wyznaczone, jako atrybut obiektu liniowego, do jego upraszczania w procesie cyfrowej generalizacji kartograficznej. Punkty stałe nadają hierarchię obiektom przestrzennym, a co za tym idzie mogą powodować zwiększenie zaufania do wyników upraszczania. Wyznaczenie punktów stałych może poprzedzać proces upraszczania przeprowadzany metodami jednoznacznymi/objektywnymi (zależnymi tylko od skali opracowywanej mapy, ang. *scale-driven generalization*), a także algorytmami redukcji punktów (ang. *point reduction*). Wyznaczenie punktów stałych odbywa się w ramach przygotowania danych do ich implementacji w modelu topograficznym/numerycznym modelu krajobrazu (ang. *Digital Landscape Model*) w wielorozdzielczej/wieloreprezentacyjnej bazie danych (przestrzennych) (ang. *Multi Resolution/Multi Representation Data Base*). Wyniki z procesu wyznaczania punktów stałych wskazują, że atrybut ten można wyznaczać w sposób automatyczny dla linii łamanych otwartych lub zamkniętych.

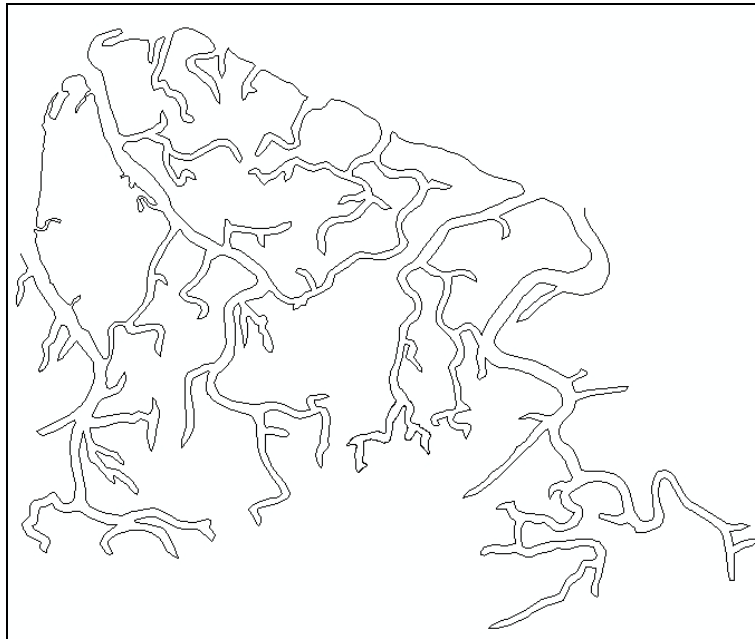
## 1. WSTĘP

Celem pracy było opracowanie automatycznego algorytmu wyznaczania punktów stałych obiektów przestrzennych dla linii łamanych otwartych i zamkniętych. Za punkty stałe (osnowę kartograficzną obiektu) należy traktować punkty, wierzchołki linii, które nie ulegają upraszczaniu w procesie generalizacji do zadanej skali (Chrobak, 2009).

Wyznaczenie punktów stałych (osnowy kartograficznej) jako atrybutu obiektu liniowego mapy w procesie jego generalizacji do zadanej skali pozwala na uproszczenie w sposób jednoznaczny, a co za tym idzie niezależny od użytkownika (Chrobak, 2010). Jednoznaczność wyników procesu cyfrowej generalizacji kartograficznej jest niezbędną cechą danych zarządzanych przez wielorozdzielcze/wieloreprezentacyjne bazy typu MRDB (ang. *multiresolution/multirepresentation data base*) (Hampe *et al.*, 2003). Wyznaczenie punktów stałych obiektów umożliwia zachowanie pełnej georeferencji danych przechowywanych w MRDB, oraz na nadanie hierarchii ich częściom, co pozwala określić proces ich

wyznaczania, jako przynależny do topograficznego modelu rzeczywistości geograficznej (ang. *Digital Landscape Model*) (Grünreich, 1995). Model ten stanowi podstawę uogólnień i służy do właściwej generalizacji danych przestrzennych – generalizacji modelu (Gładzowski, 2006). Generalizację tą określa się mianem „membrany” pozwalającej na korzystanie z danych zgromadzonych w MRDB (Mackaness *et al.*, 2007). Generalizacja kartograficzna, pierwszy raz określona jako jeden z głównych problemów kartografii przez Sydowa (1866), i jednoznaczność jej przeprowadzenia pozostają w centrum zainteresowania współczesnej kartografii czemu wyraz dano między innymi w pracach: Weibel, 1995; Gotlib, Olszewski, 2005; Chrobak *et al.*, 2007; Sarjakoski, 2007.

Próbie implementacji opracowanego algorytmu wykonano dla skomplikowanego fragmentu linii brzegowej obszaru Wielkiej Brytanii (Rys. 1). Linia brzegowa jest specyficznym obiektem jaki podlega procesowi generalizacji ze względu na swój „rozmyty” charakter (Perkal, 1958) i jako taka stanowi obiekt zainteresowania w kartografii oraz w cyfrowej generalizacji kartograficznej (Visvalingam, Whyatt, 1990; Li, Openshaw, 1993; Wang, Müller, 1993; Christensen, 2000).



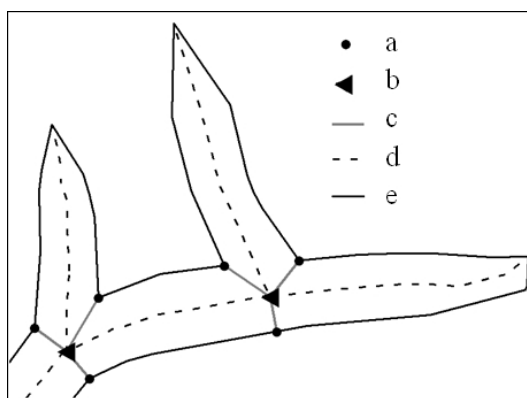
Rys. 1. Fragment linii brzegowej obszaru Wielkiej Brytanii

## 2. PUNKTY STAŁE DLA OBIEKTU LINIA BRZEGOWA

Osnowę kartograficzną obiektów liniowych stanowią punkty początku i końca linii łamanej oraz wyróżnione jej wierzchołki. Dla obiektów powierzchniowych za punkty stałe można uważać środki geometryczne obszarów (punkty matematyczne), które mogą tworzyć odcinki z punktami granicznymi innych obiektów (Chrobak, 2009; Chrobak, Koziol, 2009).

Z uwagi na charakter opracowywanej linii brzegowej autorzy podjęli próbę wyznaczenia punktów stałych w sposób automatyczny tak, aby zatoki (odcinki zatok widoczne na rysunku 1) w jej przebiegu można było wydzielić jako encje w MRDB.

Punkty na skraju ww. zatok zostaną wyznaczone i staną się punktami początkowymi i końcowymi łamanych – odcinków linii brzegowej. Punkty te zostaną pozyskane poprzez znalezienie wierzchołków linii brzegowej najbliższych punktowi skrzyżowania osi zatok. Jako punkty stałe zostaną także wyróżnione wierzchołki po przeciwnych stronach zatok. Ich przeznaczeniem jest zachowanie w „strukturze danych” pełnej georeferencji połączeń zatok (Rys. 2).



Rys. 2. Punkty stałe linii brzegowej: a – punkty stałe, b – punkt wspólny osi zatoczek na skrzyżowaniu, c – linie najkrótszych odległości od punktu wspólnego na skrzyżowaniu do wierzchołków linii brzegowej, d – osie zatok, e – linia brzegowa

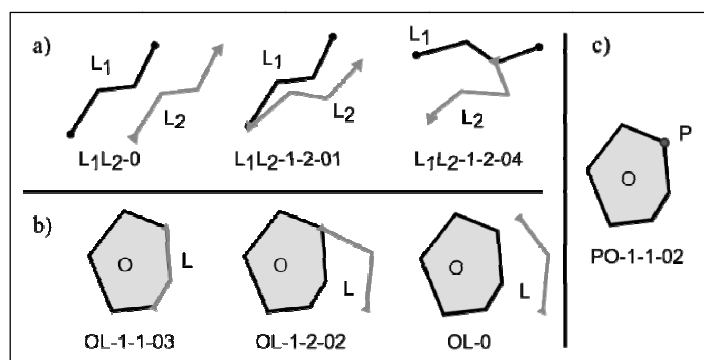
Wyznaczenie w zaproponowany sposób punktów stałych wydaje się pozwolić nie tylko zastosowanie operatora upraszczania ale i znacząco ułatwić działanie pozostałych operatorów transformacji przestrzennej (przykładowo – dla DLM: operator zapadania (Szombara, 2011); dla DCM: operator przewiększania (McMaster, Shea, 1992). Zaproponowany sposób wyznaczenia osnowy kartograficznej pozwala również na hierarchizację i klasyfikację wydzielonych encji, co daje możliwość jednoznacznego i automatycznego rozwiązywania powstających konfliktów graficznych (Żukowska, 2009). Autorzy sądzą, że przedstawiona metoda wyznaczania punktów stałych może być użyta dla innych danych (np. cieków, dróg) przetwarzanych w procesie cyfrowej generalizacji kartograficznej.

### 3. ALGORYTM NADAWANIA PUNKTÓW STAŁYCH LINII BRZEGOWEJ

W dalszej części rozdziału (Tab. 1) przedstawiono pseudokod algorytmu nadawania punktów stałych (osnowy kartograficznej) dla linii brzegowej (konwencja pseudokodu jak w pracy Cormena, Leisersona, Riverta i Steina (2005)). Relacje przestrzenne opisane w pseudokodzie wraz z notacją Buczkowskiego (2005) przedstawia rysunek 3. W pseudokodzie zdefiniowano wykorzystywane obiekty przestrzenne i w miejsce ogólnego zapisu typu obiektu (P, L, O) użyto ich oznaczeń (np. OS<sub>i</sub>). Algorytm zaimplementowano w programie ESRI ArcMap 10 jako narzędzie w ArcToolbox. Dzięki temu można go wykorzystywać w złożonych modelach geoprzetwarzania (utworzonych w aplikacji ModelBuilder).

Tab. 1. Pseudokod algorytmu wyznaczania punktów stałych

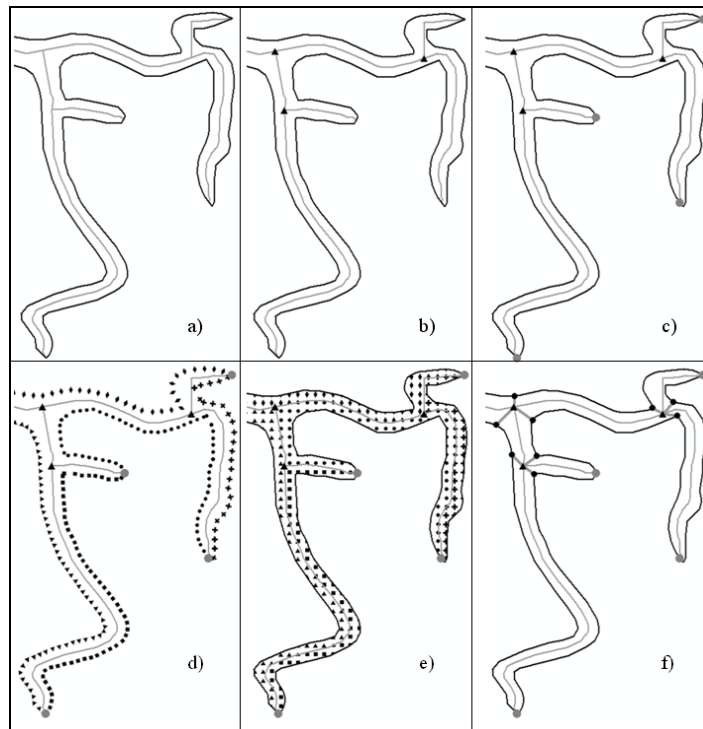
PUNKTY-STALE ( $LB, OS$ )	
▷	Dane wejściowe: $LB$ – linia brzegowa (obiekt liniowy); $OS$ – osie zatok (obiekt liniowy)
▷	Wynik: Obiekt $LB_{PS}$ – obiekt $LB$ rozdzielony w wyznaczonych punktach stałych $PS$
▷	Łamane $LB$ powinny w stosunku do siebie pozostawać tylko i wyłącznie w relacji: $LB_iLB_j-0$
▷	Łamane $OS$ powinny w stosunku do siebie pozostawać tylko i wyłącznie w relacji: $OS_iOS_j-1-2-01$
1	$Z() \leftarrow$ Utwórz obiekt punktowy $Z()$ w miejscu styku relacji $OS_iOS_j-1-2-01$
2	$S \leftarrow$ Utwórz obiekt punktowy $S$ w miejscu styku relacji $LB_iOS_j-1-2-04$
3	$LB\_ID(id) \leftarrow$ Rozdziel obiekt $LB$ w $S$ i utwórz obiekt liniowy, nadaj unikalny indeks $id$ liniom
4	$P\_ID(id) \leftarrow$ Utwórz obiekt powierzchniowy $P\_ID$ o poszczególnych poligonach ograniczonych liniami $LB\_ID$ i $OS$ taki że: $P\_ID_iLB_j-1-1-03$ dla $i=j=id$ oraz $P\_ID_iLB_j-1-2-02$ lub $P\_ID_iLB_j-0$ dla $i \neq j$ , przenieś unikalny indeks $id$ z $LB\_ID$ do $P\_ID$ jeśli $P\_ID_iLB_j-1-1-03$
▷	Wynika z tego, że $count[LB\_ID] = count[P\_ID]$ ,
▷	Niech $\langle z_1, z_2, \dots, z_n \rangle$ oznacza zbiór wszystkich punktów $Z()$ o tych samych współrzędnych („miejsce” styku osi zatok), a $\langle z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1m} \rangle$ oznacza zbiór punktów, końców osi stykających się w $z_1$ . Ilość punktów o tych samych współrzędnych jest równa ilości poligonów pozostających w relacji $z_iP\_ID_k-1-1-02$
6	for $i \leftarrow 1$ to $n$
7	$R \leftarrow$ zbiór poligonów pozostających w relacji $z_iP\_ID_k-1-1-02$
8	for $j \leftarrow 1$ to $m$
9	do przypisz unikalny indeks $id$ do $z_{ij}$ z $top[R]$
10	TOP( $R$ )
11	for $k \leftarrow 1$ to $count[P\_ID]$ ▷ dla kolejnych unikalnych indeksów
12	for $l \leftarrow Z(k)[1]$ to $Z(k)[count[Z(k)]]$ ▷ dla kolejnych punktów z dopisanym indeksem
13	do $PS \leftarrow$ najbliższy wierzchołek $LB\_ID_k$ od $l$
14	Rozdziel $LB$ w $PS$
15	return $LB_{PS}$



Rys. 3. Relacje przestrzenne opisane w pseudokodzie.

Relacje typu: a – linia-linia, b – obszar-linia, c – punkt-obszar (Buczowski, 2005)

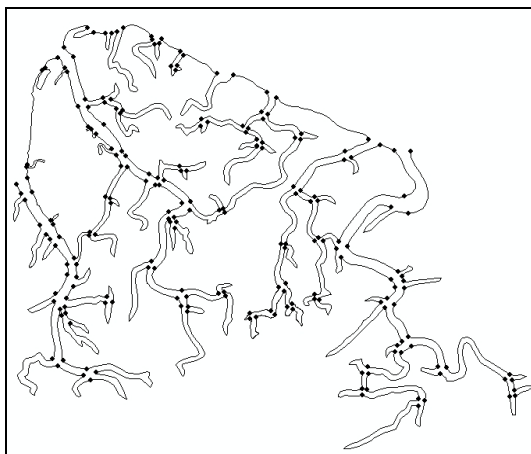
Na rysunku 4 przedstawiono działanie opracowanego algorytmu. Kluczowym dla działania algorytmu jest fakt, iż w każdym punkcie skrzyżowań zatok znajduje się tyle punktów ( $z$ ) ile osi zatok ( $OS$ ) tam się styka, ilość ta jest równa liczbie poligonów ( $P\_ID(id)$ ) (wyznaczanych w wierszu 4 algorytmu **PUNKTY-STALE**) stykających się z tymi punktami oraz ilości unikalnych odcinków linii brzegowej ( $LB\_ID(id)$ ) przebiegających „w pobliżu” skrzyżowania, a co za tym idzie, jest równa ilości punktów stałych ( $PS$ ) wyznaczanych dla linii brzegowej w danym skrzyżowaniu. Kolejność przypisywania  $id$  z poligonów do punktów (wiersze 6–10) nie ma znaczenia.



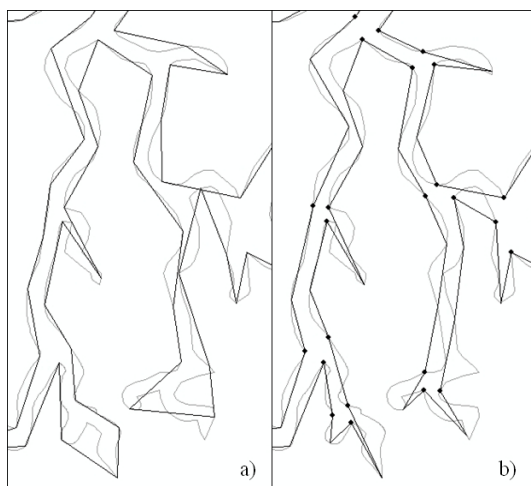
Rys. 4. Działanie algorytmu wyznaczania punktów stałych: a – dane wejściowe, b – wiersz 1 z algorytmu **PUNKTY-STALE**, c – wiersz 2, d – wiersz 3, e – wiersze 4–10, f – wiersze 11–13

#### 4. PRZYKŁAD DZIAŁANIA ALGORYTMU

Jak wspomniano wyżej działanie algorytmu sprawdzono dla fragmentu obszaru Wielkiej Brytanii (Rys. 1). Fragment ten składa się z 1 łamanej otwartej i 3 zamkniętych, łącznie 2997 wierzchołków. Wyznaczone osie zatok utworzyły 137 łamanych o 2225 wierzchołkach. W wyniku działania algorytmu dla opracowywanego fragmentu wyznaczono 424 punkty stałe (Rys. 5). Punkty te wyznaczono dla 13 miejsc ujścia zatok do morza oraz 61 skrzyżowań zatok. W większości skrzyżowań łączyły się tam 3 odcinki zatok, a co za tym idzie wyznaczano 3 punkty osnowy kartograficznej. W 5 przypadkach były to 4 odcinki, w jednym 5 odcinków.



Rys. 5. Fragment linii brzegowej obszaru Wielkiej Brytanii z wyznaczonymi punktami stałymi



Rys. 6. Fragment linii brzegowej uproszczonej metodą obiektywną Chrobaka do skali 1:75000; a) bez wyznaczonych punktów stałych, b) z wyznaczonymi punktami stałymi

Na rysunku 6 przedstawiono przykład wykorzystania punktów stałych do upraszczania linii łamanych metodą jednoznaczną Chrobaka (1999). Metoda ta została wybrana na podstawie badań Koziola (2011) i określona jako jedna z najlepszych metod upraszczania obiektów liniowych i poligonowych. Można zaobserwować, że zastosowanie punktów stałych ogranicza ilość konfliktów graficznych (widocznych na rysunku 6a) oraz nadaje bardziej regularny kształt poszczególnym odcinkom zatok. Dzięki wyznaczeniu punktów stałych oraz ich uwzględnieniu w upraszczaniu do danej skali zmniejsza się także średni błąd elementarny generalizacji (Chrobak, 1999). Dla podanego przykładu błąd  $m_0$  dla linii brzegowej upraszczanej do skali 1:75000 bez wyznaczonych punktów stałych oraz z nimi wynosił odpowiednio: 16.55 m i 15.49 m.

## 5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania wskazują, że zaproponowany algorytm pozwala na wyznaczenie punktów stałych obiektu w sposób automatyczny. Algorytm przedstawiony w postaci pseudo kodu może być zapisany w postaci procedur w dowolnym języku lub z wykorzystaniem narzędzi wspomagania projektowania modeli analiz przestrzennych (ModelBuilder). W wyniku prac nad algorytmem oraz pierwszych prób jego użycia można z pewnością określić wyznaczanie punktów stałych obiektów (o dużym skomplikowaniu) jako jedyną drogę do uzyskania jednoznacznej klasyfikacji. Pozytywny wpływ punktów stałych objawia się między innymi poprzez zwiększenie podobieństwa łamanej uproszczonej do pierwotnej, dowodem jest zmniejszenie się błędu średniego. Zastosowanie punktów stałych ułatwia także aktualizację obiektów w bazach typu MRDB. Przeprowadzone testy wykazały możliwość wyznaczenia punktów stałych dla obiektów liniowych i powierzchniowych, antropogenicznych lub o charakterze naturalnym.

## 6. LITERATURA

- Buczowski K., 2005. Relacje przestrzenne. W: *Systemy informacji topograficznej kraju*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 219–240.
- Christensen A. H. J., 2000. Line Generalization by Waterlining And Medial-Axis Transformation. Successes and Issues in an Implementation of Perkal's Proposal. *Cartographic Journal, The*, 37 (1), s. 19–28.
- Chrobak T., 1999. *Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej*. AGH; Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.
- Chrobak T., 2009. Przydatność osnowy kartograficznej i metody obiektywnego upraszczania obiektów do aktualizacji danych w BDT. *Geomatics and Environmental Engineering*, 3 (1/1), s. 81–90.
- Chrobak T., 2010. The role of least image dimensions in generalized of object in spatial databases. *Geodesy and Cartography*, 59 (2), s. 99–120.
- Chrobak T., Keller S. F., Koziół K., Szostak M., Żukowska M., 2007. *Podstawy cyfrowej generalizacji kartograficznej*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Chrobak T., Koziół K., 2009. Cyfrowa generalizacja kartograficzna warstw budynków w tworzeniu danych topograficznej bazy danych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 19, s. 59–69.
- Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivert R. L., Stein C., 2005. *Wprowadzenie do algorytmów*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Gotlib D., Olszewski R., 2005. Procesy generalizacji w ramach systemu informacji topograficznej – zarys koncepcji. W: *Systemy informacji topograficznej kraju*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 241–253.
- Grünreich D., 1995. Development of computer-assisted generalization on the basis of cartographic model theory. W: *GIS and generalization Methodology and Practice*. Taylor & Francis, London, s. 47–55.
- Głazewski A., 2006. Modele rzeczywistości geograficznej a modele danych przestrzennych. W: *Wybrane problemy generalizacji kartograficznej*. Kraków, Polska, s. 1–11.
- Hampe M., Anders K. H., Sester M., 2003. MRDB applications for data revision and real-time generalisation. W: *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*. Durban, South Africa, s. 10–16.

- Koziol K., 2011. Porównanie wybranych algorytmów upraszczania linii na przykładzie reprezentatywnego obszaru testowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, IX(1), s. 49–58.
- Li Z., Openshaw S., 1993. A Natural Principle for the Objective Generalization of Digital Maps. *Cartography and Geographic Information Science*, 20 (1), s. 19–29.
- Mackaness W. A., Ruas A., Sarjakoski L. T., 2007. Observation and Research Challenges in Map Generalisation and Multiple Representation. W: *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, s. 315–323.
- McMaster R. B., Shea K. S., 1992. *Generalization in Digital Cartography*. Association of American Geographers, Washington, D.C.
- Perkal J., 1958. Próba obiektywnej generalizacji. *Geodezja i Kartografia*, 7 (2), s. 142.
- Sarjakoski L. T., 2007. Conceptual Models of Generalisation and Multiple Representation. W: *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*. Elsevier, Amsterdam, s. 11–35.
- Sydow, von E., 1866. Drei Kartenklippen. *Geographisches Jahrbuch*.
- Szombara S., 2011. Application of Elementary Triangle in Collapse Operator of Digital Cartographic Generalisation Process. *Technical Sciences*, 14. (w druku)
- Visvalingam M., Whyatt J. D., 1990. Line generalisation by repeated elimination of points. *Cartographic Journal, The*, 30 (1), s. 46–51.
- Wang Z., Müller J. C., 1993. Complex Coastline Generalization. *Cartography and Geographic Information Science*, 20 (2), s. 96–106.
- Weibel R., 1995. Three essential building blocks for automated. W: *GIS and generalization Methodology and Practice*. Taylor & Francis, London, s. 56–69.
- Żukowska M., 2009. Resolving of Internal Graphic Conflicts of Broken Lines , which Shape Is Subject to Simplification. *Geomatics and Environmental Engineering*, 3 (1), s. 61–68.

#### **AUTOMATIC DETERMINATION OF SPATIAL OBJECTS' INVARIANT POINTS**

KEY WORDS: automation, DLM, cartographic generalization, coastline, MRDB, invariant points of an object, points reduction, simplification, scale-driven generalisation

SUMMARY: In this paper the algorithm for determining invariant points of spatial objects was presented as implemented on the data of Great Britain's coastline. Invariant points (cartographic warp) were determined as a linear object feature for its simplification in a process of digital cartographic generalisation. Invariant points provide spatial objects with hierarchy and, consequently, can increase trust towards the simplification results. Determination of the invariant points can be preceded by a simplification process carried with the unambiguous/objective methods depending only on the scale of a processed map (scale-driven methods) as well as with use of point reduction algorithms. Determination of the invariant points is proceeded during the process of preparation of the data to its implementation in a Digital Landscape Model (DLM) in a Multi Resolution/Multi Representation Data Base (MRDB). The results of the process of determination of the invariant points show, that this feature can be determined in an automatic way for the open or closed polylines.

dr inż. Krystian Koziol  
e-mail: krystian.koziol@agh.edu.pl

mgr inż. Stanisław Szombara  
e-mail: szombara@agh.edu.pl

mgr inż. Jolanta Knecht  
e-mail: jknecht@agh.edu.pl