

**Krystian Koziół\*, Stanisław Szombara\*\*(\*\*),  
Jolanta Knecht\***

\*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska  
Katedra Geomatyki

\*\*Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna  
im. ks. Bronisława Markiewicza w Jarosławiu  
Instytut Inżynierii Technicznej  
*krystian.koziol@agh.edu.pl, szombara@agh.edu.pl, jknecht@  
agh.edu.pl*

## **Hierarchia wierzchołków złożonych obiektów naturalnych dla operatora upraszczania w algorytmie Chrobaka i algorytmie Chrobaka i Koziola**

**Słowa kluczowe:** *generalizacja, upraszczanie, niezmienniki upraszczania, obiekty elementarne*

### **Streszczenie**

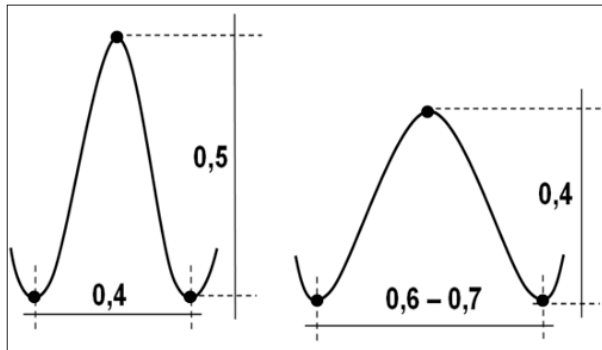
Artykuł prezentuje porównanie punktów ekstremalnych obiektu złożonego z punktami ekstremalnymi obiektów i segmentów elementarnych (składających się na obiekt złożony). Punkty ekstremalne obiektu złożonego zostały wyznaczone jednoznacznie dla łamanej, zgodnie z metodą Chrobaka. Obiekty elementarne zostały określone algorytmem wyznaczającym początki, końce oraz ekstremum globalne obiektu elementarnego, a segmenty elementarne algorytmem podziału obiektu złożonego na części spełniające warunek funkcji wzajemnie jednoznacznej. Do porównania uzyskanych zbiorów punktów wykorzystana została wartość ich hierarchii ustalona na podstawie jednoznacznej metody upraszczania Chrobaka. Jako obiekt testowy wybrany został fragment wybrzeża Walii.

## Wprowadzenie

Wymogi społeczeństwa informacyjnego, do którego przekształca się społeczeństwo konsumpcyjne, stawiane przed systemami informacji przestrzennej powodują konieczność stosowania rozwiązań opartych o wielorozdzielcze bazy danych (MRDB). Działanie tych baz opiera się na zasadzie minimalizacji kosztów związanych z pozyskiwaniem danych przy maksymalnym, wielokrotnym wykorzystaniu danych w zakresie wizualizacji danych. Zdefiniowana w MRDB metoda wizualizacji jest nazywana wieloreprezentacyjną ze względu na różne poziomy uogólnienia dla danych przestrzennych. Za sprawą dyrektywy INSPIRE [Dyrektywa 2007/2/ we Parlamencie Europejskiego i rady z dnia 14 marca 2007 r.] informacja przestrzenna stała się ogólnie dostępnym dobrem całego społeczeństwa, w związku z tym zauważyć można ciągle wzrastającą liczbę produktów opartych na udostępnieniu zasobów informacji przestrzennej. Produkty te nazywane WEBGIS oraz MOBILEGIS bazują obecnie na statycznej budowie obiektów w zakresie wizualizacji jednej wybranej skali. Odpowiedzią na wprowadzenie możliwości dynamicznego przetwarzania danych są wspomniane wyżej wielorozdzielcze bazy danych przestrzennych. Jasnym sygnałem konieczności wprowadzenia tego typu rozwiązań jest wejście w życie z dniem 4 marca 2010 ustawy o Infrastrukturze Danych Przestrzennych [*Ustawa z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej*]. Jednakże rozwiązania typu MRDB są możliwe do implementacji pod jednym podstawowym warunkiem, to jest: poprawnym działaniu automatycznej generalizacji kartograficznej (cyfrowej). Jak do tej pory pomimo licznych badań naukowych nie określono jednoznacznych ram działania generalizacji. Proces ten do tej pory nosi znamiona niejednoznacznego procesu opartego na wiedzy i doświadczeniu kartografa (geoinformatyka).

### **1. Rozpoznawalność rysunku i hierarchia obiektów w generalizacji**

Podstawowym problemem, z którym borykała się generalizacja kartograficzna, jest niejednoznaczność i zależność od operatora. Po wprowadzeniu normy rozpoznawalności rysunku zaproponowanej przez Saliszczewa i rozwiniętej przez Chrobaka, są przesłanki ku rozwiązaniu tego problemu. Innym problemem jest sposób uwzględnienia normy w operatorach generalizacji.



Rysunek 1. Wartości rozpoznawalności rysunku

Badania CHROBAKA [1999], [Podstawy cyfrowej generalizacji kartograficznej, 2007] związane z wartością rozpoznawalności (rys. 1) doprowadziły do zdefiniowania wartości, którą należy uznać za normę w upraszczaniu – cytując za autorem badań.

SALISZCZEW [1998] ustalił minimalne wymiary rysunku poprzez podstawę i wysokość (rys. 1). Miary te uwzględnił Chrobak do wyznaczenia najkrótszego boku w trójkącie, który zachowuje wymiary podane przez Saliszczewa. Trójkąt odpowiadający wymiarom minimalnym został nazwany przez Chrobaka elementarnym [CHROBAK, 1999]. Dla trójkąta elementarnego pomiędzy minimalnym wymiarem krótszego ramienia  $a_0$  i podstawą  $b$ , zachodzą związki:

$$a_0 = 0,5m \text{ dla długości podstaw } b \in (0,5 - 0,7) \text{ mm} \quad (1)$$

oraz

$$a_0 \geq 0,5m \text{ dla długości podstaw } b \in (0,4 - 0,5) \text{ mm} \quad (2)$$

Badania Chrobaka [CHROBAK, 2009] doprowadziły do uzyskania następujących wartości norm:

1. normę rozpoznawalności najkrótszego odcinka linii rysunku o szerokości 0,1 mm definiuje warunek:

$$\text{dla mapy analogowej } a_0 = 0,5[\text{mm}], \quad (3)$$

$$\text{dla mapy cyfrowej } a_{01} = 0,5[\text{mm}] * M; \quad (4)$$

2. normę rozpoznawalności kształtu linii rysunku o szerokości 0,1mm definiuje trójkąt elementarny, dla map:

analogowych, gdy zachowany jest warunek:

$$a_0 = 0,5[\text{mm}] \text{ dla długości podstaw } b \in [0,5 - 0,7] \text{ mm}, \quad (5)$$

$$a_0 \geq 0,5[\text{mm}] \text{ dla długości podstaw, } b \in [0,4 - 0,5] \text{ mm}, \quad (6)$$

cyfrowych, gdy zachowany jest, warunek:

$$\varepsilon_{01} = 0,5[\text{mm}] * M \text{ i długości podstawy, } b \in [0,5\text{mm} * M - 0,7\text{mm} * M], \quad (7)$$

$$\varepsilon_{02} = 0,5[\text{mm}] * M \text{ i długości podstawy, } b \in [0,4\text{mm} * M - 0,5\text{mm} * M]. \quad (8)$$

3. W algorytmach generalizacji trójkąt elementarny eliminuje ustalany przez operatora parametr tolerancji. Eliminacja z procesu upraszczania parametru pozwala jednoznacznie określić jego wynik [CHROBAK, 2010].

Analizując problem automatyzacji generalizacji kartograficznej, należy pamiętać o warunkach, w których można powiedzieć, że dany proces faktycznie jest automatyczny (bez ingerencji użytkownika). Do warunków tych należą:

1. hierarchia klas (kolejność przetwarzania ich wzajemne relacje),
2. hierarchia obiektów (kolejność przetwarzania oraz ich wzajemne relacje),
3. hierarchia wewnętrzna obiektów (hierarchia wierzchołów),
4. weryfikacja wyników procesu.

Przedstawione cztery warunki są elementami modelowania kartograficznego opartego na generalizacji i są przedmiotem badań rozwojowych, czego dowodem mogą być wyniki prac między innymi: BRASSELA i WEIBELA [1988], McMASTERA i SHEA [1992], a także McMASTERA i MONMONIERA [1989].

We wszystkich stosowanych modelach generalizacji operator upraszczania uważany jest za jeden z podstawowych i stosowany na początku modelowania danych dla obiektów liniowych i powierzchniowych. Z wieloletnich badań nad funkcjami operatora do upraszczania nie można nadal wskazać optymalnego algorytmu. Jest to wynikiem braku prawidłowej hierarchii wewnętrznej wierzchołków obiektu. W celu weryfikacji nowych algorytmów należy sprawdzić poprzez porównanie jego punktów ekstremalnych (wierzchołki najwyżej w hierarchii – odpowiadające za zachowanie kształtu krzywej po uproszczeniu) z innymi algorytmami. Największa liczba algorytmów upraszczania powstała w drugiej połowie ubiegłego wieku. Za pierwsze algorytmy upraszczania uznaje się algorytmy PERKALA [1966] oraz LANGA [1969]. Z okresu tego pochodzi jeden z najpopularniejszych algorytmów DOUGLASA i PEUCKERA [1973]. Algorytm ten posiada swoją implementację w wielu programach, nie tylko tych, których zadaniem jest przetwarzanie danych przestrzennych (ArcGIS, Grass). W ogólnej charakterystyce algorytm Douglasa-Peukera bazuje na ustalonej przez użytkownika odległości. Inne podejście zaprezentowali VISVALINGAM i WHYATT [1993], których algorytm bazuje na ustalonej powierzchni trójkąta. Jeden z najbardziej zaawansowanych pod względem badania łamanej pierwotnej wydaje się algorytm opracowany przez Wanga [WANG, MÜLLER, 1998], analizujący krzywizny łamanej pierwotnej i dostosowujący algorytm upraszczania do jej kształtu.

Działanie przedstawionych powyżej algorytmów upraszczania łamanych, z wyłączeniem algorytmów Perkala, polega na usuwaniu wierzchoł-

ków z łamanej pierwotnej według określonych przez algorytm procedur. Proces taki nie jest procesem upraszczania, gdyż po uogólnieniu, łamana względem łamanej pierwotnej (figury najbliższej rzeczywistości) nie zachowuje w sposób optymalny: kształtu, położenia i miary. W związku z tym autorzy podjęli decyzję o porównaniu metody Chrobaka z algorytmem opartym na rozmieszczaniu punktów na krzywej opracowanego przez Chrobaka i Koziół.

## 2. Algorytm upraszczania oparty na rozmieszczaniu wierzchołków na krzywej

W wyniku przeprowadzonych badań [CHROBAK, KOZIOŁ, 2012] zaproponowany został nowy algorytm do upraszczania łamanej (rys. 2), w którym kolejnymi etapami są:

- przekształcenie łamanej w krzywą o nieskończonej liczbie punktów przy zastosowaniu interpolacji wielomianowej Hermite'a;
- wyznaczenie punktów ekstremalnych krzywej pierwotnej i ich hierarchizację, zachowując normę rozpoznawalności rysunku;
- wstawianie nowych punktów pośrednich na krzywej pomiędzy sąsiednie punkty – ekstremalne, w odległościach zachowujących normę rozpoznawalności.

Znając liczbę wierzchołków i wartości ich współrzędnych, dla których istnieje funkcja klasy  $C^1 \in [a, b]$ :

$$f(x) \in C^1[a, b] \wedge [x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n] \in [a, b], \quad (9)$$

gdzie:  $x_i \neq x_{i+1}$  dla  $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$ .

W celu stworzenia doskonalszej funkcji interpolacyjnej jak (1), zastosujemy wielomian Hermite'a, który jest zgodny z  $f(x_i)$ , a z  $f'(x_i)$  w punktach  $x_i$  dla  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , ponadto wielomian jest co najwyżej  $2n+1$  stopnia. Postać wielomianu (de Boor 1978) jest następująca:

$$H_{2n+1}(x) = \sum_{j=0}^n f(x_j) H_{n,j}(x) + \sum_{j=0}^n f'(x_j) \hat{H}_{n,j}(x) \quad (10)$$

gdzie:

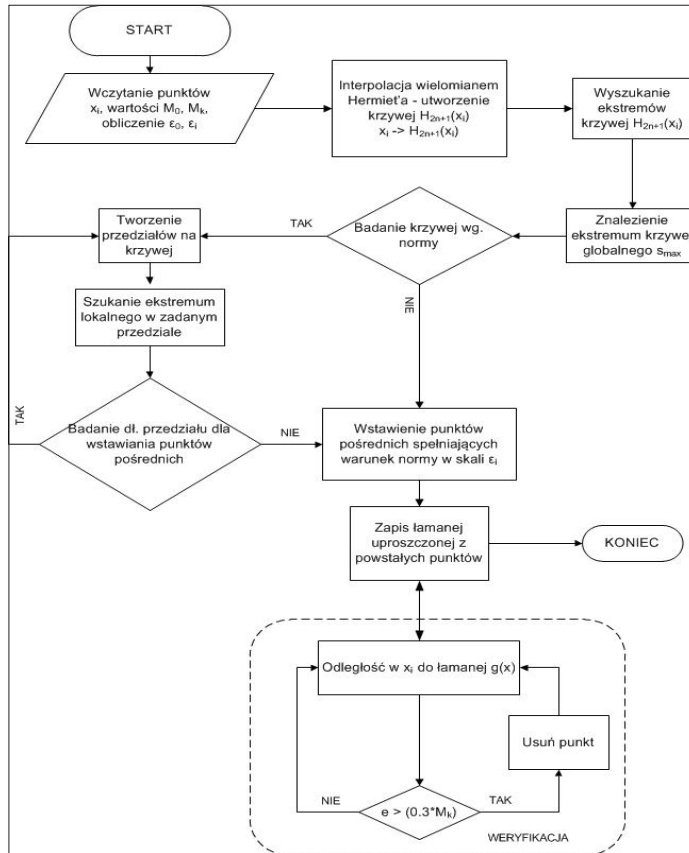
$$H_{n,j}(x) = [1 - 2(x - x_j)L'_{n,j}(x_j)L_{n,j}^2(x)] \quad (11)$$

$$\hat{H}_{n,j} = (x - x_j)L_{n,j}^2(x), \quad (12)$$

$L_{n,j}$  to  $j$  – ty współczynnik wielomianu Lagrange'a stopnia  $n$ .

Upraszczenie łamanej powoduje, że kształty i położenie krzywych pierwotnej i łamanej upraszczanej są zachowane z dokładnością normy rozpoznawalności. Ponadto norma rozpoznawalności rysunku w nowym

algorytmie eliminuje użytkownika z wyznaczania wartości parametru do upraszczania łamanej. Cecha ta powoduje zbliżenie wyników procesu do jednoznaczności. Eliminacja ustalania parametru przez użytkownika i jednoznaczność wyniku zwiększa procent automatyzacji procesu, przez co nowe rozwiązanie można uznać za metodę, a nie tylko algorytm.

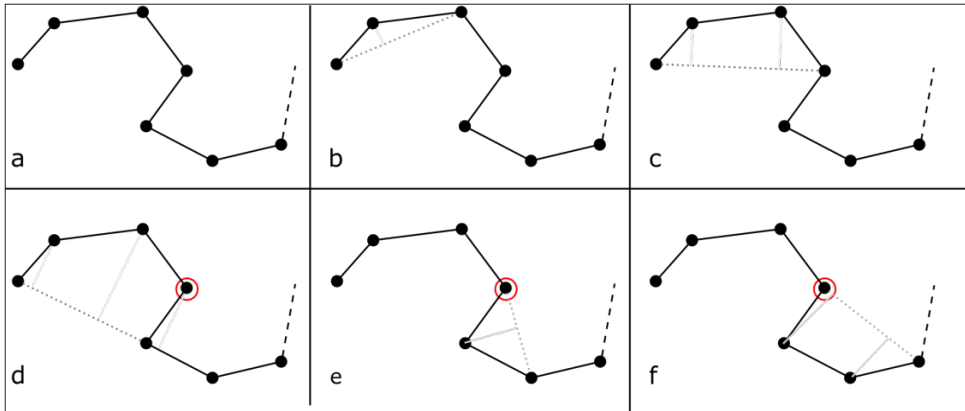


Rysunek 2. Schemat nowego algorytmu upraszczania

Aby możliwe było zastosowanie nowego algorytmu upraszczania dla dowolnej łamanej, należy ją rozdzielić na segmenty o charakterze funkcji wzajemnie jednoznacznej; segmenty te nazwiemy segmentami elementarnymi.

Metoda poszukiwania punktów początku i końca segmentów elementarnych została opisana na rysunku 3. Metoda wyznaczania tych punktów opiera się na dwóch założeniach, minimalizacji ilości segmentów elementarnych i możliwie najmniejszej zróżnicowanej ich długości (dla całej przetwarzanej łamanej). Segmenty elementarne stanowią dane wejścio-

we dla algorytmu opartego na rozmieszczeniu punktów pośrednich na krzywej.



Rysunek 3. Sposób wyznaczenia punktów początku i końca segmentów elementarnych dla łamanej otwartej. Przerywaną linią zaznaczono kontynuację łamanej (która przetwarzana była, by analogicznie, jak jej fragment opisany na rysunku). a-c – badane są kolejne segmenty łamanej, w tych segmentach ma ona charakter funkcji wzajemnie jednoznacznej, na prostą przechodzącą przez cięciwę, rozpiętą na wierzchołkach początkowym i końcowym segmentu, można jednoznacznie rzutować badane segmenty łamanej. d- badany segment nie może być jednoznacznie rzutowany na prostą przechodzącą przez cięciwę rozpiętą na skrajnych wierzchołkach segmentu. Czerwonym okręgiem zaznaczono ostatni wierzchołek, który będąc końcem segmentu, pozwalał na jednoznaczne rzutowanie segmentu na prostą przechodzącą przez cięciwę na nim rozpiętą. Wierzchołek ten jest szukanym punktem końca (początku następnego) segmentu elementarnego. e-f – kolejne badane od nowego punktu segmenty.

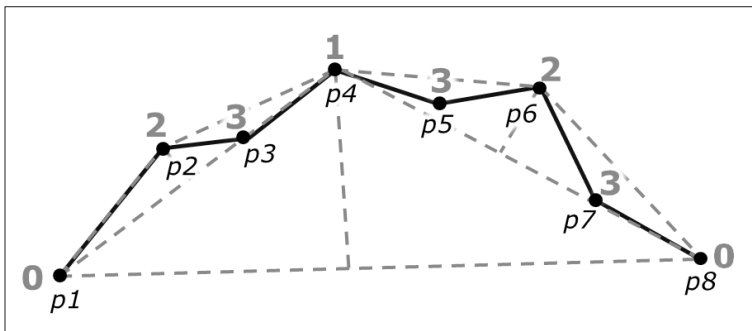
Ponieważ punkty początków i końców segmentów elementarnych są istniejącymi wierzchołkami łamanej, została określona dla nich hierarchia zgodnie z metodą Chrobaka (rys. 4). W ten sam sposób określona została również hierarchia wierzchołków obiektów elementarnych (patrz rozdział 5).

### 3. Algorytm Chrobaka i jednoznaczna hierarchia wierzchołków

Algorytm CHROBAKA [1999, 2000] zaliczany jest do grupy algorytmów globalnych, w którym ma zastosowanie norma rozpoznawalności. Pozwala ona przeprowadzić proces upraszczania bez udziału operatora,

gdyż parametr określa norma. Działanie algorytmu to wybór wierzchołków pośrednich na podstawie wyznaczonych ekstremów łamanej pierwotnej. Wybór ekstremów rozpoczyna trójkąt utworzony na badanej łamanej z punktów podstawy: początkowego i końcowego oraz najbardziej oddalonego od podstawy wierzchołka łamanej. Miarą weryfikacji trójkąta jest norma określona równaniem (7), (8). Wierzchołek badany pozostaje, gdy zachowana jest norma, w przeciwnym wypadku jest on odrzucany. Postępując sekwencyjnie, dochodzimy do kolejnych trójkątów, w których definiujemy pozostające wierzchołki łamanej pierwotnej. Dla wierzchołków niespełniających warunku (7, 8), obliczane są sumy długości odcinków pomiędzy wierzchołkami sąsiednimi. Przy sumie przekraczającej wartość podwojonego  $a_0$ , pozwala na wyznaczenie w badanym przedziale łamanej nowego wierzchołka. Jego wstawienie dokładniej odwzorowuje kształt łamanej uproszczonej do kształtu pierwotnego.

Wybór pozostających wierzchołków pozwala na ustalenie ich hierarchii, gdzie na najwyższym poziomie hierarchii oznaczone zostaną początek i koniec łamanej, natomiast następne poziomy hierarchii będą określały kolejno badane wierzchołki (rys. 4).



Rysunek 4. Wyznaczenie kolejnych poziomów hierarchii wierzchołków łamanej.

Linia czarna – łamana pierwotna, linia przerywana – badane w procesie generalizacji trójkąty elementarne poziomu hierarchii 1 i 2.

- – wierzchołki łamanej pierwotnej (wraz z opisem numeru punktu),  
 0, 1, 2 ... – kolejne poziomy hierarchii.

#### 4. Wyznaczenie obiektów elementarnych i ich punktów początkowych i końcowych

Wyznaczenie obiektów elementarnych polega na wyznaczeniu ich początku i końca oraz wyróżnionych wierzchołków [KOZIOŁ, 2012]. Dla obiektów powierzchniowych za punkty stałe można uważać środki geometryczne obszarów (punkty matematyczne), które mogą tworzyć odcinki

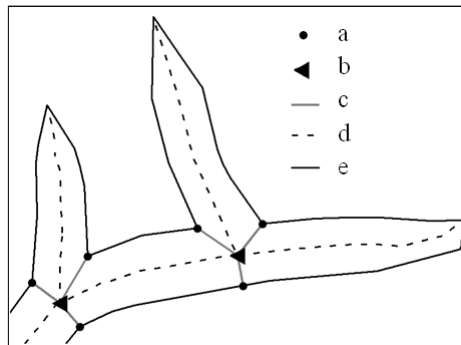


z punktami granicznymi innych obiektów [CHROBAK, 2009]. W przypadku obiektów złożonych pod względem geometrycznym, takich jak: linia brzegowa, sieć rzeczna, linia graniczna lasu, istotne jest, aby wydzielić poszczególne elementy łamanej jako encje w MRDB.

Dla złożonego obiektu powierzchniowego encjami będą elementarne obiekty powierzchniowe. Wyznaczenie obiektów elementarnych polega na [SZOMBARA, KOZIOŁ, 2011]:

- wyznaczeniu osi obiektów i zapisaniu go jako dendrytu (grafu płaskiego),
- wyznaczeniu węzłów grafu i określeniu ich stopnia,
- klasyfikacji krawędzi grafu,
- wyznaczeniu wierzchołków łamanej znajdujących się najbliżej węzłów o stopniu większym lub równym 3.

Wyznaczone wierzchołki stały się punktami początkowymi i końcowymi obiektów elementarnych analizowanego obiektu złożonego. W przypadku obiektu powierzchniowego (np. jezioro, linia brzegowa) konieczne jest wyróżnienie wierzchołków po przeciwnych stronach analizowanego fragmentu. Podyktowane to jest koniecznością zachowania spójności logicznej w strukturze bazy danych (rys. 5).



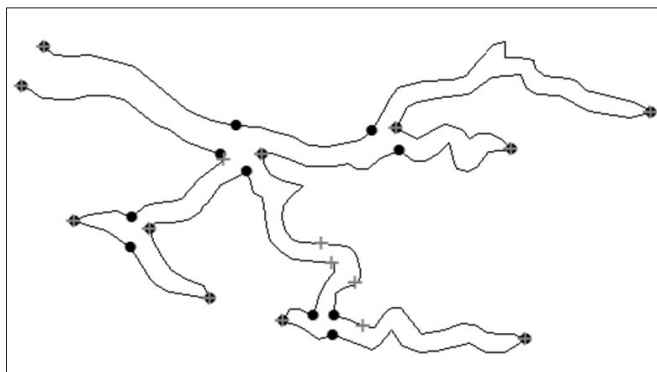
Rysunek 5. Punkty początkowe i końcowe obiektów elementarnych linii brzegowej: a – początki i końce, b – punkt wspólny osi zatoczek na skrzyżowaniu, c – linie najkrótszych odległości od punktu wspólnego na skrzyżowaniu do wierzchołków linii brzegowej, d – osie zatok, e – linia brzegowa

Wyznaczonym w ten sposób encjom (obiektom elementarnym) zostanie nadana klasa dziedzicząca z klasyfikacji grafu. Natomiast hierarchia wierzchołków ustalona zostanie zgodnie z działaniem algorytmu Chrobaka (rys. 4). Podział łamanej może znacząco ułatwić działanie pozostałych operatorów transformacji przestrzennej (przykładowo: dla DLM: operator zapadania [SZOMBARA, 2011]; dla DCM: operator przewiększania [McMASTER,

SHEA, 1992]) a także daje możliwość jednoznacznego i automatycznego rozwiązywania powstających konfliktów graficznych [ŻUKOWSKA, 2009].

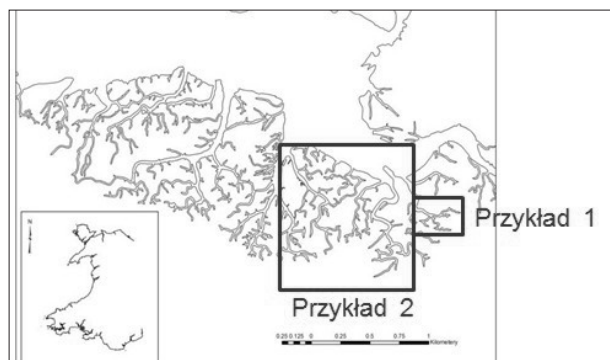
## 5. Punkty początku i końca obiektów elementarnych a punkty początku i końca segmentów elementarnych

Jako ostatni element analizy poprawności zaproponowanego w rozdziale 3 algorytmu upraszczania jest sprawdzenie, w jaki sposób zachowują się względem siebie początki i końce obiektów elementarnych oraz początki i końce segmentów elementarnych. Wzajemne relacje geometryczne między wyznaczonymi punktami zostały przedstawione na rysunku 6.



Rysunek 6. Porównanie punktów początkowych i końcowych obiektów elementarnych (●) z punktami początku i końca segmentów elementarnych (+)

Przeanalizowano dwa fragmenty linii brzegowej wybrzeża Walii (rys. 8). Pierwszy z fragmentów posiadał 206 wierzchołków i długość 1955 m. Wyznaczono na nim 15 segmentów elementarnych oraz 20 obiektów elementarnych. Zbadano hierarchię wierzchołków po utworzeniu obiektów elementarnych, traktując każdą parę – początek koniec jako wierzchołki o poziomie hierarchii 0. Hierarchię tę porównano z hierarchią punktów początku i końca segmentów elementarnych obliczaną przed i po utworzeniu obiektów elementarnych. Wyniki porównania przedstawiono w tabeli 3.



Rysunek 7. Fragmenty linii brzegowej Walii

Tabela 3. Porównanie hierarchii punktów początku i końca segmentów elementarnych przed i po uwzględnieniu punktów początkowych i końcowych obiektów elementarnych (poziom hierarchii: 0) dla przykładu 1

Poziom hierarchii	Przed utworzeniem obiektów elementarnych		Po utworzeniu obiektów elementarnych	
	Liczba wierzchołków,	w tym punktów początku i końca segmentów elementarnych	Liczba wierzchołków,	w tym punktów początku i końca segmentów elementarnych
0	2	2	21	11
1	1	1	20	-
2	2	-	35	1
3	4	1	51	1
4	8	2	44	1
5	16	1	27	2
6	30	2	8	-
7	42	2	-	-
8	50	3	-	-
9	29	2	-	-
10	16	-	-	-
11	4	-	-	-
12	2	-	-	-

Drugi fragment linii brzegowej posiadał 2997 wierzchołków oraz wyznaczono dla niego 201 segmentów elementarnych oraz 286 obiektów elementarnych. Analogicznie jak dla przykładu 1 porównano hierarchię punktów początkowych i końcowych obiektów elementarnych z hierarchią punktów początku i końca segmentów elementarnych (tabela 4).

W wyniku przeprowadzonego porównania zauważono, że pokrycie punktów początku i końca segmentów elementarnych z punktami początku i końca obiektów elementarnych dla przykładu 1 wyniosło 52% (rys. 6), natomiast dla przykładu 2 wartość ta była mniejsza i wynosiła 30%. Warto jednak zauważyć, że punkty pokrycia odnoszą się do wierzchołków o wyższych poziomach hierarchii, co sprawia, że punkty początkowe i końcowe segmentów elementarnych pokrywają się z wierzchołkami stanowiącymi ekstremum globalne lub lokalne obiektów elementarnych (rys. 6). W tabeli 3 i 4 widać także wpływ wyznaczonych punktów uporzędkowania wierzchołków całego obiektu złożonego.

Tabela 4. Porównanie hierarchii punktów początku i końca segmentów elementarnych przed i po uwzględnieniu punktów początkowych i końcowych obiektów elementarnych (poziom hierarchii: 0) dla przykładu 2

Poziom hierarchii	Przed utworzeniem obiektów elementarnych		Po utworzeniu obiektów elementarnych	
	Liczba wierzchołków,	w tym punktów początku i końca segmentów elementarnych	Liczba wierzchołków,	w tym punktów początku i końca segmentów elementarnych
0	8	4	287	86
1	4	-	274	16
2	8	3	464	26
3	16	5	595	38
4	32	6	523	25
5	61	14	383	9
6	104	14	227	3
7	166	27	137	2
8	250	22	73	-
9	307	29	30	-
10	354	22	10	-
11	373	17	3	-
12	340	16	-	-
13	302	11	-	-
14	258	9	-	-
15	194	4	-	-
16	127	2	-	-
17	64	-	-	-
18	21	-	-	-
19	6	-	-	-
20	2	-	-	-

## Wnioski

Wyznaczenie obiektów elementarnych dla obiektów złożonych jest drogą do uzyskania poprawnej hierarchii wierzchołków dla procesu upraszczania i innych operatorów generalizacji.

Wyznaczenie obiektów elementarnych odbywa się automatycznie w sposób jednoznaczny.

Obiekty elementarne podlegają klasyfikacji wynikającej z dziedziczenia względem obiektu złożonego.

Podział obiektu na obiekty elementarne powoduje, że punkty istotne dla oddania kształtu po uproszczeniu obiektu złożonego znajdują się wysoko w hierarchii wierzchołków.

Podział na segmenty elementarne jest konieczny przy stosowaniu metody upraszczania opartej na rozmieszczeniu wierzchołków na krzywej (algorytm Chrobaka i Kozioła).

Punkty początku i końca segmentów elementarnych wyznaczone są w wierzchołkach o wysokim poziomie hierarchii obliczanej po utworzeniu obiektów elementarnych. Pozwala to sądzić, że wyznaczone segmenty dzielą łamaną na części zachowujące jej charakter w procesie upraszczania.

Zaprezentowana hierarchizacja wierzchołków (punkty początku i końca obiektów elementarnych oraz punkty początku i końca segmentów elementarnych) łamanej jest jednoznaczna i ma pozytywny wpływ na procent automatyzacji procesu generalizacji cyfrowej.

## Literatura

- Brassel K.E., Weibel R., 1988, *A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization*. Int. J. Geogr. Inf. Sci., 2(3), s. 229–244.
- Chrobak T., 1999, *Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej*, Kraków, AGH; Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.
- Chrobak T., 2000, *A Numerical Method for Generalizing the Linear Elements of Large-Scale Maps, Based on the Example of Rivers*. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 37(1), s. 49–56.
- Chrobak T., 2009, *Przydatność osnowy kartograficznej i metody obiektywnej 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., Koziół K., 2012, *A New Simplification Algorithm* [maszynopis].
- Douglas D.H., Peucker T.K., 1973, *Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitised Line or its Caricature*. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10(2), s. 112–122.
- Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, I.108/1, 25.4.2007.
- Koziół K., 2012, *The importance of fixed points in the simplification process* [maszynopis].
- Lang T., 1969, *Rules for robot draughtsmen*. *The Geographical Magazine*, 42, s. 50–51.
- McMaster R. B., Monmonier M., 1989, *A conceptual framework for quantitative and qualitative raster-mode generalization*. *Proceedings of GIS/LIS'89, Orlando, 26-30 November*, s. 390–403.
- McMaster R.B., Shea K.S., 1992, *Generalization in Digital Cartography*, s. 1–67. Washington, Association of American Geographers.
- Perkal J., 1966, *An attempt at objective generalization* [w:] *Discussion Papers of the Michigan Interuniversity Community of Mathematical Geographers*, J.D. Nystuen (red.), Discussion Paper 10. MI: Ann Arbor, Department of Geography, University of Michigan.
- Podstawy cyfrowej generalizacji kartograficznej*, T. Chrobak (red.), 2007, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Saliszczew K.A., 1998, *Kartografia ogólna*, Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Szombara S., Koziół K., 2010, *Automatyczne wyznaczenie punktów osnowy kartograficznej dla uproszczonej linii brzegowej w procesie generalizacji z wykorzystaniem aplikacji ModelBuilder programu ESRI ArcMap*, „*Geomatyka i Inżynieria*”, 2, s. 51–62.
- Szombara S., 2011, *Application of Elementary Triangle in Collapse Operator of Digital Cartographic Generalisation Process*. *Technical Sciences*, 14.
- Ustawa z dnia 4 marca 2010r. o infrastrukturze informacji przestrzennej*, Dziennik Ustaw Nr 76, poz. 489.
- Visvalingam M., Whyatt J.D., 1993, *Line generalisation by repeated elimination of points*. *Cartogr J.*, 30(1), s. 46–51.

Wang Z., Müller J.C., 1998, *Line Generalization Based on Analysis of Shape Characteristics*. Cartography and Geographic Information Science, 25(1), s. 3–15.

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.

**Krystian Koziol\*, Stanisław Szombara\*\*(\*)  
Jolanta Knecht\***

\*AGH University of Science and Technology in Cracow  
Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering  
Department of Geomatics

\*\*The Bronisław Markiewicz State School  
of Technology and Economics in Jarosław  
The Institute of Technical Engineering  
*krystian.koziol@agh.edu.pl, szombara@agh.edu.pl,  
jknecht@agh.edu.pl*

## **The hierarchy of vertices of complex natural objects in simplification operator of Chrobak Algorithm and Chrobak & Koziol Algorithm**

**Key words:** *cartographic generalization, polyline simplify, landmarks, elementary objects*

### **Summary**

In this article the extremum points of a complex object are compared with extremum points of its components: elementary objects and elementary parts of a polyline. For a polyline, the extremum points of the complex object have been determined unambiguously in accordance with the Chrobak method. Elementary objects have been distinguished with use of algorithm determining the beginnings, endings and global extremum of elementary object. Elementary parts of polyline have been determined with use of algorithm dividing it into parts, which satisfy the condition of one-to-one function. The comparison of the obtained sets of points have been based on the value of their hierarchy, which was determined with use of the unambiguous Chrobak Simplification Method. A section of Welsh coastline was chosen as a test object.