
Autoreferat z zawodowych i naukowych osiągnięć

**dotyczy osiągnięć w dziedzinie badań i prac
naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych**

dr inż. Krystian Kozioł

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Kraków 2015

1. Dane osobiste

Imię i nazwisko

Krystian Kozioł

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

Październik 2003 Stopień naukowy: doktor nauk technicznych w dyscyplinie Geodezja i Kartografia

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

Rozprawa doktorska: Przydatność regionów jako obszarów strukturalnych w automatycznej generalizacji kartograficznej obiektów liniowych

Wrzesień 1995 r. Dyplom: magister inżynier w zakresie geodezji i kartografii, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Tytuł pracy magisterskiej: Transfer danych pomiędzy systemami informatycznymi jako element sprawnie działającego Systemu Informacji o Terenie na przykładzie wdrożenia aplikacji InterSEG w gminie Żory

Luty 1995 Ukończenie Studiów Specjalnych w zakresie wyceny nieruchomości, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

	Od października 1998 do września 2004
Doktorant	Akademia Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
	Od listopada 1999 do maja 2004

Asystent	Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie Wydział Leśny , Katedra Ekologii Lasu, Laboratorium GIS i Teledetekcji
	Od czerwca 2004 do października 2007
Adiunkt	Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie Wydział Leśny , Katedra Ekologii Lasu, Laboratorium GIS i Teledetekcji
	od listopada 2007 - nadal
Adiunkt	Akademia Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geomatyki
	Od października 2009 - nadal
Starszy Wykładowca	starszy wykładowca w Instytucie Inżynierii Technicznej Państwowej Wyższej Szkole Techniczno-Ekonomicznej im. ks. Bronisława Markiewicza w Jarosławiu

4. Wskazanie osiągnięcia wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 17 ust 2. ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki wskazuję cykl publikacji powiązanych tematycznie, pt: „**Automatyzacja procesu tworzenia uogólnionych obiektów przestrzennych**”.

b) Jednotematyczny cykl publikacji¹

25.Chrobak T., KOZIOŁ K., 2009, Cyfrowa generalizacja kartograficzna warstw budynków w tworzeniu danych topograficznej bazy danych, Digital cartographic generalization of buildings layer in creating data of the topographical database,

¹ Numeracja zgodna z listą wszystkich opublikowanych prac naukowych przedstawioną w załączniku 3.

- Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing, vol. 19, s. 59–69
32. KOZIOŁ K., 2011, Porównanie wybranych algorytmów upraszczania linii na przykładzie reprezentatywnego obszaru testowego, Comparison of selected simplification algorithms on the example of a representative test area, Roczniki Geomatyki, Annals of Geomatics, Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej t.9, z.1, s. 49–57
37. KOZIOŁ K., 2012, Operatory generalizacji warstwy zabudowy, Generalisation operators of buildings layer, Roczniki Geomatyki, Annals of Geomatics, Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej, t. 10, z. 7, s. 45–57
38. KOZIOŁ K., Szombara S., Knecht J., 2012, Wyznaczenie punktów stałych obiektów przestrzennych na drodze automatycznej, Automatic determination of spatial objects invariant points, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing, vol. 23, s. 179–186
40. KOZIOŁ K., 2012, Znaczenie punktów stałych obiektu w procesie upraszczania, The importance of fixed points in the simplification process, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing ; ISSN 2083-2214 vol. 23, s. 169–177
44. KOZIOŁ K., Szombara S., 2013, New method of creation data for natural objects in MRDB based on new simplification algorithm, ICC 2013 from pole to pole XXVI International Cartographic Conference: August 25–30, 2013, Dresden, Germany proceedings ed. Manfred F. Buchroithner, ISBN 978-1-907075-06-3, S. [1–19]
http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/ICC2013_Proceedings.pdf
45. Lupa M., KOZIOŁ K., 2013, Wykorzystanie operatorów łączenia i agregacji do zasilania WBD, The use of merging and aggregation operators for MRDB data feeding, Geoinformatica Polonica, ISSN 1642-2511 vol. 12, s. 17–24
47. KOZIOŁ K., 2013, Algorytm upraszczania linii z wykorzystaniem interpolacji, A line simplification algorithm using interpolation, Roczniki Geomatyki, Annals of Geomatics, Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej t.11 z.3, s. 45–59

c) Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Komentarz autorski do zbioru publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Wstęp

Współczesne rozwiązania w zakresie generalizacji wraz ze zbiorem baz danych pozwalają na wieloaspektową prezentację danych (Balley 2014). Możliwości systemów bazodanowych ciągle rosną (Mackaness et al. 2007) czego dowodem mogą być bazy nie relacyjne (Hadjigeorgiou 2013). Warunkiem dalszego rozwoju jest między innymi większa elastyczność procesów w zakresie dostosowania generalizacji do kontekstu użytkowania danych (Balley 2014,).

Automatyczna generalizacja jest procesem niejednorodnym i składa się z wielu podprocesów (operatorów) (Weibel 1998, Sester 2000, Sarjakoski T, Sarjakoski LT 2007, Harrie, Weibel 2007), a operatory te podlegają algorytmizacji i modelowaniu (McMaster, Regnauld 2007).

Warunki które musi spełniać mapa po procesie uogólnienia to:

- poprawność reprezentacji rzeczywistych fenomenów podlegających procesowi abstrakcji,
- mapa musi być aktualna i czytelna dla użytkownika.

Zachowanie tych dwóch warunków gwarantuje poprawną jakość produktu kartograficznego z tego wynika iż muszą być spełnione jednocześnie warunki tworzenia reprezentacji obiektu i jego czytelności (Harrie, Weibel 2007). Ważnym elementem w przekształceniach geometrycznych jest zachowanie topologii, a jej zaburzenie wskazuje w procesie uogólnienia na występowanie konfliktów. Lewandowicz (2012) wskazuje, że topologia jest powszechnie stosowana przy edycji danych geometrycznych i wizualizuje relacje między tymi obiektami.

Geneza, cele i tezy cyklu publikacji

Generalizacja stanowi obecnie jeden z głównych nurtów badawczych obejmujący swoim zakresem już nie tylko kartografię, geoinformatykę, ale także wszystkie dziedziny w których informacja przestrzenna jest pozyskiwana, przekształcana i prezentowana. Badania naukowe potwierdzają zasadność rozwoju i stosowania standaryzacji, harmonizacji i interoperacyjności w bazach danych typu MRDB i cyfrowej generalizacji kartograficznej (Chrobak 2013). W ich dalszym rozwoju niezbędne jest zwiększenie stopnia automatyzacji procesów generalizacji poprzez doskonalenie struktury bazy danych, porządkowanie i aktualizowanie jej zbiorów

danych oraz operatorów do uogólniania. Dla uzyskania jednoznaczności wyniku działania operatora generalizacji musi on zachować model deterministyczny. I tu niezbędna jest wymierna ocena wyników, której dotychczas nie podejmowano [32]². W budowie modeli dla danych przestrzennych i procesu generalizacji zauważono postęp w zakresie optymalizacji struktur baz danych poprzez odchodzenie od relacyjno-obiektowych baz na rzecz obiektowych [36]. Ostatnie zmiany prawne wprowadzane przez GUGiK (DzU 2010 nr 201, poz. 1333, DzU 2011 nr 279, poz. 1642, Dz.U. 2013 nr 0 poz. 383) są dowodem postępu w zakresie zapisu modeli kartograficznych w bazach obiektowych. W opracowanej obiektowej strukturze bazy danych uwzględniono aktualizację ciągłą danych obiektów topograficznych dla skal średnich (BDOT10k) na podstawie danych bazy obiektów topograficznych dla skal wielkich (BDOT500). BDOT10k stanowi jedyne źródło danych dla bazy danych obiektów ogólnogeograficznych (BDOO). Rozwiązanie GUGiK jest uzasadnione z dwóch powodów:

- aktualizacja ciągła bazy danych,
- pozyskiwanie danych z zastosowaniem generalizacji.

Wprowadzenie nowych rozwiązań metodycznych oraz technologicznych w zakresie danych przestrzennych prowadzi do unowocześnienia produktów i usług w zakresie pozyskiwania, przechowywania, przetwarzania i wizualizacji danych przestrzennych. W Polsce, zgodnie z wymogami dyrektywy INSPIRE Unii Europejskiej, od wielu lat prowadzone są prace nad usystematyzowaniem, harmonizacją i interoperacyjnością danych przestrzennych (Bac-Bronowicz i inni 2006, Bac-Bronowicz i inni 2009). Szczególną uwagę należy poświęcić tym warstwom informacyjnym, które ulegają szybkiej dezaktualizacji takich jak: budynki, zabudowa oraz towarzysząca im zmiana infrastruktury komunikacyjnej.

Zaproponowanie wielorozdzielczych baz danych (WBD) do rozwiązań obejmujących zapis danych topograficznych pozwala na współdziałanie bazy danych obiektów: topograficznych w skali 1 : 500 (BDOT 500), topograficznych (BDOT 10k) w skali 1 :

² W nawiasach kwadratowych zapisano odwołania do listy wszystkich opublikowanych prac naukowych przedstawionej w załączniku 3.

10000 oraz ogólnogeograficznych BDOO dla skal 1: 250 000 i mniejszych (Gotlib, Olszewski 2005, Chrobak 2013). Dla poprawnego działania tych baz musi być zapewniona harmonizacja, interoperacyjność, a także procesy generalizacji zapewniające wysoki stopień automatyzacji. W badaniach nad tymi bazami główną uwagę skupiono na niezbędnym uzupełnieniu ich struktury, która umożliwi automatyzację procesu generalizacji. Proces ten ma wpływ na relacje przestrzenne między obiektami efektem czego są błędy relacji i koniczność ich analizy.

Wielorozdzielcze bazy danych obiektów przestrzennych w zakresie funkcjonowania wymagają topologii, która jest jednym z zagadnień podejmowanym w ramach moich badań.

Działanie przekształcające dane przestrzenne poprzez automatyczne operatory generalizacji tworzą nowe warstwy tymczasowe z wadliwą topologią obiektów, następnie obiekty te stają danymi źródłowymi dla kolejnych operatorów, a efektem jest pomnażanie się błędów. Zjawisko to zostało potwierdzone badaniami na warstwie budynków. Wyniki doświadczalne potwierdzają konieczność uporządkowania zbioru danych i ich związków topologicznych.

Proces generalizacji obiektów przechowywanych w bazie danych przestrzennych nie może przebiegać w sposób dowolny. Dla operatorów generalizacji niezbędny jest model deterministyczny z określonymi warunkami (koniecznym i wystarczającym) do ich rozwiązania celem zapewnienia jednoznaczności oraz powtarzalności wyników procesu. Jednoznaczność i powtarzalność zapewnia minimalna miara szczegółowości linii na mapie A. Saliszczeva. W metodzie T. Chrobaka (2010) wykorzystano miary Saliszczeva do zdefiniowania trójkąta elementarnego, upraszczania i weryfikacji wyników procesu uogólnienia krzywej oraz oceny jej dokładności. W metodzie tej oblicza się długości w trójkątach, których ramiona pokrywają się z badaną linią łamanej. Krótsze ramiona i podstawy trójkątów porównuje się z odpowiadającymi miarami minimalnymi linii (Chrobak 2010).

Wymiary minimalne rysunku i zaproponowana metoda upraszczania oparta na modelu deterministycznym (a nie tylko algorytm) zachowuje dokładności danych przestrzennych określonych przepisami branżowymi. Metoda do uogólnienia danych w bazach typu WBD ma duże znaczenie praktyczne i zachowuje standard MRDB (Chrobak 2010).

Proces generalizacji budynków bądź zabudowy jest jednym z najtrudniejszych procesów ze względu na konieczność wykorzystania w modelu generalizacji wielu operatorów. Zaimplementowane w oprogramowaniu GIS operatory nie dają: powtarzalnych wyników, jednoznaczności rozwiązań oraz możliwości oceny dokładności wyniku. Liczba algorytmów geometrycznych rozwiązujących problem operatorów ciągle rośnie, jako przykład można podać liczbę algorytmów do upraszczania linii których jest około 30. Podobnie rozwiązań w zakresie klasyfikacji i hierarchizacji danych bez których automatyzacja procesu jest niemożliwa. Pomimo wielu badań nie istnieje jednak obiektywny sposób oceny wyników tych algorytmów.

Opisane powyżej zagadnienia były podstawą prac prowadzonych w ramach projektu badawczego **Automatyzacja zasilania i aktualizacji danych o budynkach w Wielorozdzielczej Bazie Danych Topograficznych (WBDT) wraz z generalizacją danych**. numer rejestracyjny N N526 064340 umowa NCN nr: 0643/B/T02/2011/40 w latach 2011-2013 realizowanego w AGH Kraków pod kierownictwem Prof. Chrobaka.

Podstawowym celem naukowo-technologicznym było utworzenie modelu generalizacji opartej na jednoznacznych operatorach³. W części technologicznej projektu uwzględniono współczesne możliwości oprogramowania GIS oraz najnowsze osiągnięcia nauki w zakresie przetwarzania geometrycznego z zastosowaniem teorii grafów.

Celem użytkarnym była implementacja zaproponowanych algorytmów i modeli w wybranym pakiecie GIS oraz ich weryfikacja na przykładowych danych.

Można przypuszczać, że przedstawione w cyklu publikacji rozwiązania będą miały zastosowania praktyczne. Jednak korzyścią najistotniejszą okazało się utworzenie narzędzi zwiększających stopień automatyzacji procesu aktualizacji danych obiektów BDOT 10k na podstawie danych BDOT500. Pozwoli to na ich aktualizację w sposób ciągły, redukcję kosztów związanych z przetworzeniem obiektów do BDOT oraz weryfikację procesów uogólniających.

³ Pod pojęciem jednoznaczności należy w tym miejscu przyjąć iż algorytmy muszą być powtarzalne weryfikowalne i niezależne od użytkownika. Przeprowadzone badania wskazują na konieczność wprowadzenia między innymi uporządkowania przetwarzanych zbiorów.

Na podstawie wyników badań zamieszczonych w cyklu publikacji można sformułować

następujące tezy naukowe:

Teza 1:

Automatyzacja procesu generalizacji obiektów naturalnych i antropogenicznych wymaga dla danych przestrzennych ich uporządkowania, zachowania topologii obiektów a dla operatorów jednoznacznych wyników.

Teza 2:

Warunkiem harmonizacji baz danych przestrzennych z użyciem procesu generalizacji jest wyznaczenie punktów charakterystycznych obiektów, które są niezmiennie w operatorach generalizacji tworząc podstawę kartograficzną⁴ obiektu.

Teza 3:

Warunkiem jednoznaczności procesu generalizacji jest zachowanie wymogów modelu deterministycznego oraz uniezależnienie parametrów w operatorach od użytkownika.

Dla zobrazowania wpływu i istotności topologii w generalizacji zaprojektowano i wykonano doświadczenie mające na celu przedstawianie jej roli w tym procesie. Dla uproszczenia działań przyjęto założenia modelu generalizacji Ratajskiego, z wartościami miary warunku ilościowego odpowiadającego miarom minimalnym (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**).

W przeprowadzonym doświadczeniu reguły narzucone w generalizacji oparto na dwóch wskaźnikach ilościowych:

1. geometrycznych cechach generalizacji,

⁴ Osnowa kartograficzna obiektu jest elementem niezmiennym w procesie uogólnienia. Przykładowo dla rzeki będzie to początek (źródło) i koniec (ujście) jeżeli stopień generalizacji nie pozwala pokazać tych dwóch punktów rzeka nie będzie prezentowana na mapie tej skali.

2. zastąpieniu oznaczeń odrębnych obiektów oznaczeniem łączonym.

Od pierwszego wskaźnika zależy upraszczanie zarysów przedstawianych obiektów, natomiast drugi określa metody agregacji.

Dla spełnienia warunków doświadczenia skorzystano z dwóch operatorów generalizacji: upraszczania i agregacji, które są dostępne w ArcToolbox w formie narzędzi upraszczania budynków (Simplify Building) oraz agregacji poligonów (Aggregate Polygon). Szczegółowe wyniki zostały przedstawione w monografii pt **„Automatyzacja zasilania i aktualizacji danych o budynkach w Wielorozdzielczej Bazie Danych Topograficznych (WBDT) wraz z generalizacją danych”**. Jako dane przykładowe wykorzystano warstwę BDOT500 budynków (BUBD) zawierającą 31786 obiektów – poligonów, będących konturami podstaw obiektów mieszkalnych, administracyjnych, przemysłowych i innych, znajdujących się w granicach miasta, zarówno tych eksploatowanych, jak i tych będących w budowie (Rys. 1). Warstwa SKDR zawiera 11520 obiektów liniowych, będących osią geometryczną bądź linią umowną dróg (Rys. 1).



Rys. 1. Sklasyfikowana sieć drogowa oraz budynki użyte w doświadczeniu (źródło: własne)

Dla przeprowadzenia testu do kopii warstwy BUBD celowo wprowadzono błędy topologiczne nakładania się sąsiednich budynków. Wszystkie warstwy umieszczono w geobazie o takich samych właściwościach jak baza źródłowa. Proces uogólnienia danych przeprowadzono dwa razy, dla danych poprawnych i niepoprawnych topologicznie.

Generalizację przeprowadzono w czterech skalach: 1:10 000, 1:25 000, 1: 50 000, 1:100 000. Ze względu na niemożliwość wprowadzenia do programu wartości minimalnych wymiarów na mapie, wszelkie tolerancje podaje się w wymiarach terenowych, co powoduje, że wartości wymiarów granicznych upraszczania i agregacji zależne są od skali mapy w jakiej chcemy dokonać wizualizacji. Skala jest więc parametrem procesu.

Przeprowadzone badania potwierdzają złożoność procesu generalizacji cyfrowej. Z próby uogólnienia warstwy budynków (zarówno poprawnej, jak i zawierającej błędy topologiczne), zawierającej 31786 obiektów, metodą „agregacja -> upraszczanie” oraz metodą „upraszczanie -> agregacja” wynika, że proces taki jest możliwy do wykonania przy pomocy wybranych narzędzi w sposób jednoznaczny tylko przy założeniu ograniczonej liczby obiektów. W przeprowadzonym doświadczeniu wystąpił niekorzystny efekt braku powtarzalności wyników, a wzrost liczby konfliktów nie był zależny od wzrostu mianownika skali.

Aby przeprowadzić całkowicie zautomatyzowaną generalizację korzystając z narzędzi agregacji i upraszczania jednocześnie, należy wzbogacić model o funkcję automatycznej poprawy topologii i zastosować ją między pierwszym a drugim operatorem.

Otrzymane wyniki pozwalają przypuszczać, że:

- użyte funkcje mogą posiadać błędy na poziomie programowania,
- wybrane algorytmy nie sprawdzają się przy dużej ilości danych dając w kolejnych, identycznych próbach, niejednakowe wyniki.

Ze względu na użycie w **doświadczeniu standardowych narzędzi systemu GIS** dla potrzeb kontynuacji badań zaprojektowane zostały własne algorytmy dla operatorów działające w oparciu o następujące założenia:

- segmentacja klas obiektów dokonywana jest przed procesem generalizacji,
- uzyskiwane jest uporządkowanie obiektów,
- zastosowanie warunków rozpoznawalności i stosowanie metod deterministycznych w algorytmach operatorów generalizacji.

Przeprowadzone badania wskazują że:

- na proces generalizacji wpływ mają błędy topologiczne, także w wynikach pośrednich pomiędzy poszczególnymi operatorami,
- brak uporządkowania operatorów w procesie prowadzi do niejednoznaczności,
- segmentacja danych jest konieczna według ustalonego porządku przestrzennego lub hierarchicznego.

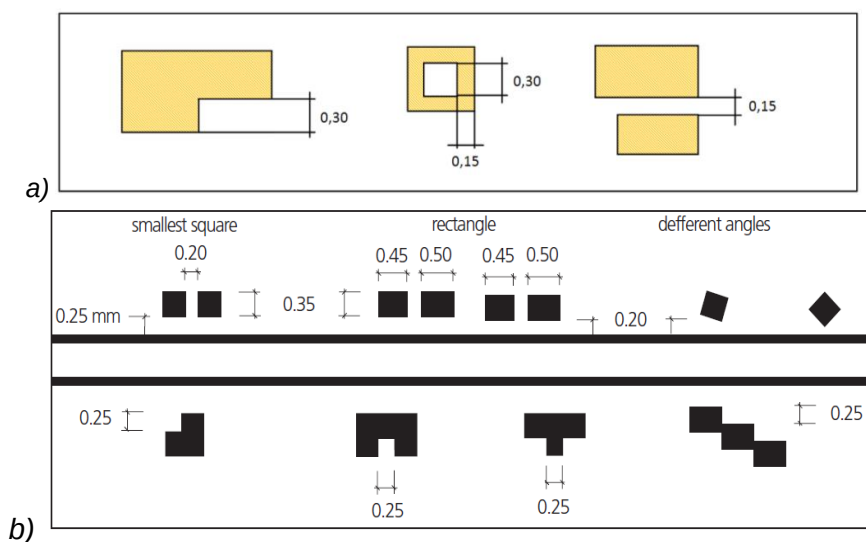
Badania autora nad generalizacją obiektów zabudowy zbiegły się z wprowadzaniem rozwiązań opartych na technologii wielorozdzielczych baz danych w zastosowaniach branżowych. Rozwój baz danych przestrzennych widoczny jest po wprowadzonych przez GUGiK projektach: TBD, GBDOT oraz po zmianach prawnych w zakresie BDOT działającej na trzech poziomach uogólnienia (BDOT500, BDOT10k i BDOO). Utworzenie jednej lub kilku baz danych o wielu reprezentacjach zmusza do tworzenia danych o różnych poziomach szczegółowości (ang. Level of Details - LoD) obiektów tej bazy. Takie rozwiązanie jest uzasadnione z punktu widzenia kosztów tworzenia bazy oraz procesu jej wizualizacji w różnych skalach (Gotlib 2009). Tak funkcjonującą bazę można nazwać wielorozdzielczą/wieloreprezentacyjną. Utworzenie jej jest możliwe tylko przy założeniu, że istnieje jednoznaczny proces generalizacji kartograficznej. Pojęcie harmonizacji i interoperacyjności wprowadzone przez ustawę o infrastrukturze danych przestrzennych (Dz. U. nr 76 poz. 489, 2010) implikuje zapewnienie harmonizacji danych gromadzonych w BDOT. Poprzez harmonizację eliminowany jest efekt redundancji danych oraz powielania procesów zachodzących w poszczególnych bazach danych współtworzących BDOT. Do procesów tych należy m. in przetwarzanie i aktualizacja danych. Interoperacyjność pozwala natomiast na wieloaspektowe wykorzystanie danych przestrzennych.

Przeprowadzone wraz z Prof. Chrobakiem badania nad generalizacją cyfrową dla zabudowy prowadzone były dwu torowo. Prowadzone były prace nad zaprojektowaniem operatorów generalizacji działające w zakresie obiektów antropogenicznych z wykorzystaniem trójkąta elementarnego (Chrobak 1999). Jednocześnie projektowana była strukturyzacja danych i porządkowanie hierarchiczne obiektów. Wybrane wyniki badań nad generalizacją warstwy zabudowy zostały przedstawione w publikacjach pt. **„Cyfrowa generalizacja kartograficzna warstwy budynków w tworzeniu danych topograficznej bazy danych”** [25], w

publikacji samodzielnej pt: „**Operatory generalizacji warstwy zabudowy**” [37], a także we współautorskiej publikacji pt: „**Wykorzystanie operatorów łączenia i agregacji do zasilania WBD**” [40].

W przypadku generalizacji budynków należy wziąć pod uwagę prostokątność i równoległość krawędzi obiektu. Najczęściej stosowanym podejściem jest metoda oparta na regułach, które iteracyjnie sprawdzają krótkie krawędzie budynków. W zależności od kontekstu przestrzennego, wynikającego z sąsiedztwa, podjęta zostaje decyzja (Sester 2000) o ich usunięciu.

Dla załamania można zastosować przesunięcie, eliminację lub typifikację. Operacje te wywoływane są gdy któraś z krawędzi jest mniejsza od wartości minimalnej rysunku widocznej w danej skali (Sester 2005). Wartość ta może być różnie ustalana co prowadzi do niejednoznaczności wyników tego samego algorytmu. Wartości ustalone przez Saliszczeva (Rys. 2a), można porównać np. z wartościami wymiarów minimalnych (Rys. 2b) zaproponowanymi przez Szwajcarskie Towarzystwo Kartograficzne (Swiss Society of Cartography 2005). Minimalne wymiary zdefiniowane przez Swiss Society of Cartography odnoszą się do rozmiarów obiektów i odległości między nimi (Swiss Society of Cartography 2005).



Rys. 2. Porównanie wymiarów minimalnych rysunku (podane w mm na mapie) dla warstwy budynków: a) - zaproponowanych przez Saliszczeva (1998), b) - Szwajcarskie Towarzystwo Kartograficzne (Swiss Society of Cartography 2005)

Wartości (Rys. 2) są różne ale należy podkreślić fakt, że zasadniczą różnicą jest zastosowana symbolizacja (obrys i plama). Grubość najcieńszego symbolu obrysu

wynosi 0.1 mm. W związku z tym wartość grubości symbolu obrysu należy uwzględnić przy ustalaniu wymiarów minimalnych.

W badaniach nad minimalnymi wymiarami rysunku prowadzonych przez Chrobaka (2010), wykazał on, że dla budynku krawędzie powinny spełniać warunek długości:

$$\varepsilon_{03} = 0.4 \text{ mm} * M, \quad (1)$$

gdzie:

M – to mianownik skali docelowej.

Warunek ten uwzględnia szerokość symbolu tj. 0,1 mm, który należy zapisać jako:

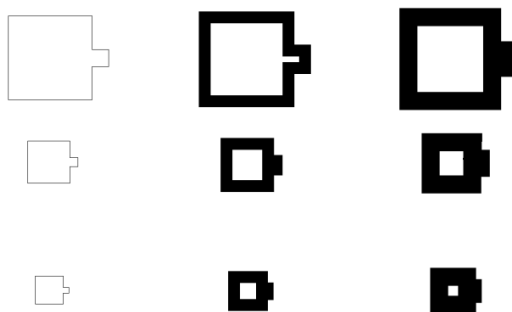
$$\varepsilon_{03} = (0.3 \text{ mm} + s) * M, \quad (2)$$

gdzie:

s - to grubość symbolu,

M – to mianownik skali docelowej.

Analizując wartość 0,3 mm w kontekście wartości minimalnego wymiaru rysunku, zauważamy, że jest ona wartością odpowiadającą warunkom postawionym w powyższych przykładach (Rys. 2) w większości przypadków. Na przykład w przypadku elementu wklęsłego lub wypukłego jego wielkość w osi musi wynosić 0,3 mm przy wielkości symbolu 0,1 mm, jednakże przy zwiększeniu wielkości symbolu zmniejsza się czytelność (Rys. 3).



Rys. 3. Przykładowy budynek z zastosowaną symbolizacją odpowiednio 0,1, 0,6, 0,9 mm w trzech skalach 500, 5 000 i 10 000 (źródło: własne)

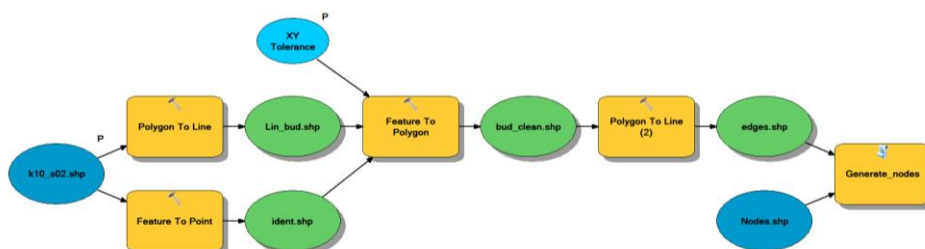
Istotnym działaniem przygotowawczym poprzedzającym proces generalizacji niezależnie od użytych algorytmów jest weryfikacja topologiczna z uwzględnieniem wartości tolerancji wierzchołków budynków. W przypadku bazy danych obiektów topograficznych dla skali 1 : 500 przyjęta została wartość:

$$\varepsilon_{03} = (0.3 \text{ mm} + 0,1) * 500, \quad (2)$$

Wskazane różnice między poszczególnymi wartościami wynikają z różnego podejścia i zacierają się wraz ze wzrostem mianownika skali. Rozbieżności (Rys. 2)

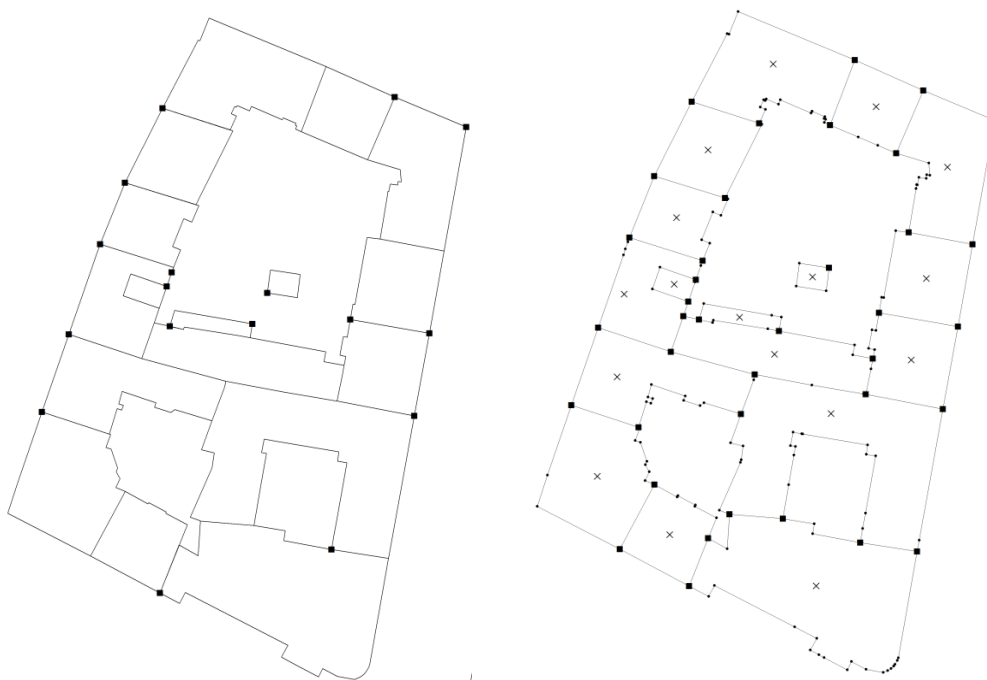
między wartościami wynikają także z faktu określenia ich w różnych progach generalizacji. Wartości określone przez Saliszczeva (Rys. 2a) są dla obiektów w takich skalach, gdzie przedstawione są kontury obiektu (próg upraszczania) a nie jego schematyczna lub symboliczna wizualizacja (dla budynków skale mapy zasadniczej ewidencyjnej i topograficznej 1:10 000). W przypadku wartości określonych przez szwajcarskie Towarzystwo Kartograficzne (Rys. 2b) minimalne wymiary dotyczą progów schematyzacji i symbolizacji w przypadku budynków są to skale średnie i małe map topograficznych.

Poprawa topologiczna została przeprowadzona w sposób automatyczny, likwidując między innymi poligony reszkowe.



Rys. 4. Model do weryfikacji topologicznej: zmienna modelu wprowadzana jest wartość w metrach, wynikiem działania procedury są krawędzie i węzły bez poligonów reszkowych „Silver” (źródło: własne)

Efektem działania zaprojektowanego modelu (Rys. 4) jest zapis danych wektorowych o budynkach w modelu topologicznym krawędziowo – węzłowym, wraz z wyznaczeniem środków geometrycznych budynków (Rys. 5).

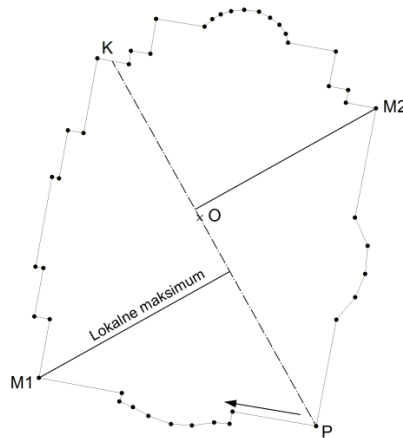


Rys. 5. Dane pierwotne oraz dane po procesie weryfikacji topologicznej (punkty – wierzchołki, X - centroidy) na obu rysunkach zaznaczono węzły (kwadraty) po lewej istniejące w danych pierwotnych po prawej powstałe w wyniku procesu poprawy topologicznej, brak węzła oznacza poligony resztkowe lub błędy topologiczne danych (źródło: własne)

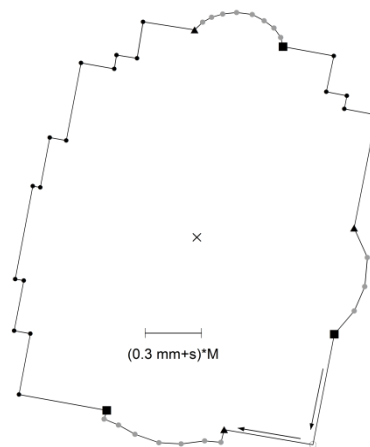
Podczas badań opisanych powyżej dowiedziono konieczność określenia osnowy kartograficznej dla budynków. Osnowa kartograficzna wraz z topologią to warunki niezbędne dla jednoznaczności procesu generalizacji zabudowy. Według autorów procedury funkcjonowania WBDT od wysokiej dokładności danych (odpowiadającej skalom 1: 500 - 1 : 5000) dla warstwy zabudowy wymagają zdefiniowania osnowy kartograficznej dla obiektów baz danych. Osnowa kartograficzna jest jednocześnie warunkiem aktualizacji ciągłej. Przeprowadzone badania nad upraszczaniem budynków wykazały różnice w wynikach powodowane między innym kolejnością wierzchołków (różne miejsca węzła początkowego, czy prawo- lub lewoskrętność) w budynku.

Dla obiektów powierzchniowych antropogenicznych takich jak budynek osnowę stanowi odcinek łączący punkt środkowy (centroid) z najdalszym punktem na jego obwodzie. Po wyznaczeniu środka obiektu (Rys. 6 punkt „O”) wyznaczony zostaje wierzchołek najdalej od niego oddalony (Rys. 6 punkt „P”). Powstały odcinek jest kierunkiem pierwszej linii odciętych od której odkładane będą kolejne rzędne do kolejnych wierzchołków obiektu. Wierzchołek o najdłuższej rzędnej (Rys. 6 punkt „M1”) wraz z wierzchołkiem „P” wyznacza kierunek dla wszystkich wierzchołków

budynku. Kolejnym punktem osnowy jest punkt po drugiej stronie (Rys. 6 punkt M2). Wyznaczone punkty stanowią osnowę kartograficzną obiektu, a przedstawiony sposób ich wyznaczenia jest jednoznaczny, powtarzalny i niezależny od środowiska informatycznego i operatora.



Rys. 6. Wyznaczenie osnowy kartograficznej dla przykładowego budynku na rysunku oznaczono przez O- środek geometryczny, P – punkt najdalej położony od środka, M1 – punkt o najdłuższej rzędnej, które wyznaczają kierunek przebiegu wierzchołków, M2 – punkt o najdłuższej rzędnej po drugiej stronie, półprostą wychodzącą z punktu P i przechodzącą przez punkt O nazwiemy osią kartograficzną budynku (źródło: własne)



Rys. 7. Wyznaczenie fragmentów klasy c^2 dla przykładowego budynku na rysunku oznaczono przez x- centroid, wyznaczony początek i koniec obwodu budynku, trójkątem oznaczono początek fragmentu klasy c^2 , a kwadratem jego koniec, strzałkami zaznaczono kierunek przebiegu algorytmu (źródło: własne)

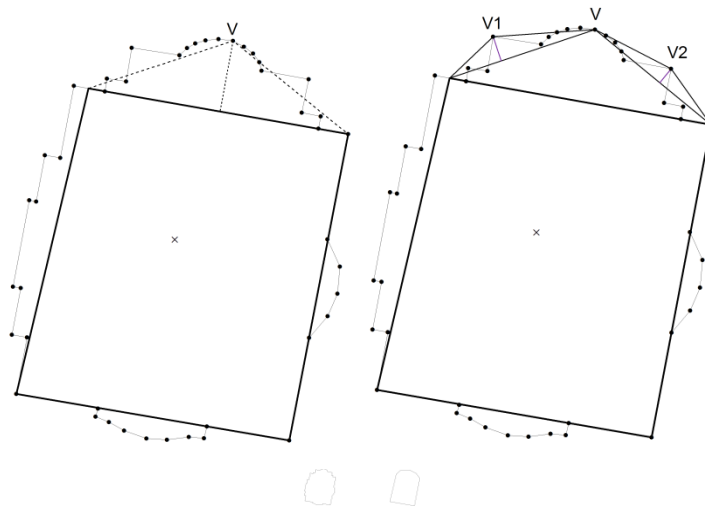
Na rysunku 10 przedstawiono budynek będący przykładem hybrydy składającej się z elementów klasy C^1 i C^2 , a następnej kolejności wyznaczenie ich początków i końców (Rys. 7). W zależności od klasy linii inaczej będzie przebiegać ich upraszczanie.

Wydzielenie fragmentów klasy c^2 odbywa się na podstawie długości odcinków. Warunkiem jest wystąpienie więcej niż trzech (Rys. 7) odcinków krótszych niż

warunek 2 w ciągu następującym po sobie, a kąty między innymi są różne od kąta pełnego i półpełnego z uwzględnieniem warunku 2 [25, 37].

Po procesie przygotowawczym można wyeliminować obiekty nierozpoznawalne czyli takie których odległość między punktami osnowy kartograficznej (Rys. 6), jest mniejsza niż warunek 2 (warunek wystarczający dla eliminacji). Warunkiem koniecznym jest nierozpoznawalność jego sąsiedztwa.

W artykule 37 i 25 przedstawione są wyniki uogólnienia obrysu budynków. Usunięcie detali budynków (Rys. 8) przy założeniu, że wierzchołki ich podlegają eliminacji, gdy odległości rzędnych od linii (ściany budynku) nie spełniają warunku (2).



Rys. 8. Wierzchołek V jest najbardziej oddalonym od osnowy kartograficznej, a sprawdzenie warunku (2) dla ramion trójkąta, którego podstawą jest odcinek osnowy kartograficznej pozwala określić rozpoznawalność wierzchołka V, powtarzając dla kolejnych wierzchołków otrzymujemy kolejno V1 i V2 (źródło: własne)

W publikacjach dotyczących operatorów działających na obiektach zabudowy opracowany został także jednoznaczny algorytm prostokątowania. Podstawą prostokątowania jest [37]:

- przebieg procesu dla wierzchołków uporządkowanych według osnowy kartograficznej,
- ustalenie wartości tolerancji kąta na podstawie z wykorzystaniem minimalnych wymiarów rysunku:

$$\beta_e \cong \arcsin\left(\frac{\varepsilon_{03}}{d_i}\right), \quad (3)$$

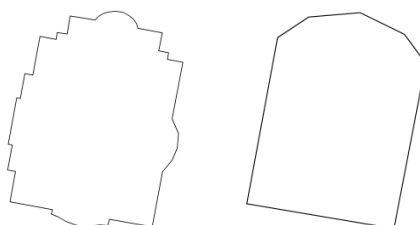
- zbadanie wartości kąta α w wierzchołku V:

$$90 - \beta_e \leq \alpha \leq 90 + \beta_e, \quad (4)$$

- wyznaczenie nowego położenia wierzchołka V' przy zachowaniu warunków:

$$d|VV'| \leq \varepsilon_{03}. \quad (5)$$

Zamiana tolerancji kątowej na liniową i uwzględnienie minimalnych wymiarów jako parametru operatora gwarantuje weryfikację wprowadzonych przesunięć wierzchołków [37]. Warunkiem jednoznaczności algorytmu jest istnienie osnowy kartograficznej.



Rys. 9. Budynek przed procesem (BDOT500) i po procesie uogólnienia dla skali średniej (BDOT10k) (źródło: własne)

Warstwa zabudowy jest jedną z dominujących w treści map topograficznych. Wszelkie zmiany kształtu czy lokalizacji obiektów tej klasy mogą być prowadzone tylko przy zachowaniu ich geometrii oraz topologii (sąsiedztwa), co znacząco ogranicza możliwości projektowania rozwiązań w procesie generalizacji kartograficznej (Tab. 1).

W skalach dużych (mianownik 500 do 10000) gdy obiektami mapy są pojedyncze budynki, podstawowym problemem jest ich geometria po przeprowadzonym procesie upraszczania, polegającym na usunięciu zbędnych szczegółów budynku (Sester 2000, Haunert & Wolf 2008, Fan and Meng 2010).

Kształty budynków zazwyczaj podlegają najmocniejszym zamianom w wyniku działania generalizacji kartograficznej (zmiana w prostokąt lub kwadrat, eliminacja, połączenie oraz typifikacja). Na mapach topograficznych od 1:10000 do 1:50000, geometria poszczególnych budynków jest zachowana (Regnauld et al., 1999), a budynki są niekiedy powiększone ze względu na cel i zakres funkcji mapy topograficznej (orientacja, informacja).

Tab. 1. Zmiany rozmiaru powierzchni dla dróg, budynków oraz obszarów zabudowanych w wybranych skalach (x2 – x4 oznacza: od dwu do czterokrotnego zmniejszenia powierzchni) (źródło: Regnauld et al., 1999).

Skala	Drogi	Budynki	Obszar zabudowany
1: 5 000	Brak zmian	Brak zmian	Brak zmian
1:25 000	x2 – x4	Małe zmiany	Brak zmian

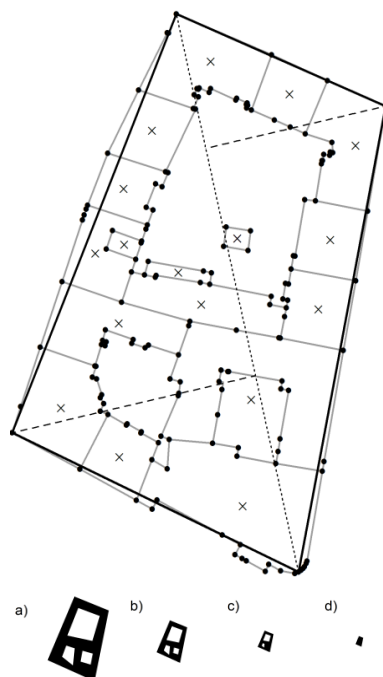
1:50 000	x4 – x8	x1.5 – x2	x1.2
1:100 000	x6 - x16	x2 – x4	x1.5
1:200 000	x32	x4 – x8	x2

Müller (1990) przeprowadził analizę niemieckich map topograficznych z uwzględnieniem zmian w obszarach o różnej gęstości zabudowy (Tab. 2). Jego badania wykazują kontekstowy charakter uogólnienia kartograficznego zabudowy.

Tab. 2. Zmiany w ilości budynków dla obszarów o zabudowie zwartej i rozproszonej (źródło: Müller 1990).

Skala	Zabudowa zwarta	Zabudowa rozproszona
1: 5 000	Brak zmian	Brak zmian
1:25 000	60%- 80% pozostaje	Brak zmian
1:50 000	30% -40% pozostaje	80% pozostaje
1:100 000	10% scalonych w blok	30% - 50% pozostaje
1:200 000	0%-3% scalonych w blok	0% -10% pozostaje

Przedstawiona przez Müller kontekstowa analiza procesu uogólnienia wskazuje na istotność atrybutów opisowych w procesie upraszczania. Metoda obiektywna do upraszczania geometrii danych przy wykorzystaniu osnowy kartograficznej zapewnia jednoznaczność przekształceń geometrycznych. Atrybuty o znaczeniu semantycznym w tej metodzie wykorzystywane są do ustalania hierarchii detali w upraszczanych budynkach [25, 37, 40]. W artykułach [25, 37, 40] znajdziemy potwierdzenie, iż w każdym przypadku czy to generalizacji rozproszonych pojedynczych obiektów, czy też generalizacji całych grup budynków, należy w pierwszej kolejności uzyskać uporządkowanie zbioru, a następnie przeprowadzić proces generalizacji. Szczególne znaczenie uporządkowanie ma w procesie łączenia i scalania obiektów [40]. Wyniki przedstawione w artykule potwierdzają konieczność uporządkowania i hierarchizacji w zbiorze.



Rys. 10. Osnowa kartograficzna dla grupy budynków: etap przygotowawczy do ustalenia rozpoznawalności elementów składowych wraz z ich wizualizacją przy przejściu ze skal średnich a) i b) (BDOT10k) do małych c) i d) (BDOO) (źródło: własne)

Przy zmniejszaniu skali (Rys. 10) zachodzi potrzeba grupowania budynków w obiekty zabudowy (Sester & Brenner 2000). Zmiana skali dla zgrupowanych budynków powoduje konieczność ich eliminacji, przesuwania i agregacji (Regnauld 2003, Li et al. 2004) lub typifikacji (Rys. 11) redukującej liczbę obiektów przy zachowaniu rozkładu przestrzennego (Regnauld 2001, Burghardt & Cecconi 2003). W artykule [37] wykazałem przydatność minimalnego drzewa rozpinającego przy wyznaczaniu skupisk budynków podlegających połączeniu w procesie generalizacji. Po uwzględnieniu warunków zawartych w artykułach [25] [37] [40] bliskości dla grupy budynków (Rys. 11) należy wyznaczyć dla nich osnowę. Następnie na podstawie osnowy wyznaczone zostają pozostałe rozpoznawalne wierzchołki dla zadanej skali. Po zastosowaniu prostokątowania otrzymujemy obiekt DLM gotowy dla wizualizacji w modelu DCM w określonej skali (Rys. 11).



Rys. 11. Wyznaczenie obiektu DCM dla modelu DLM w skali 1 : 25 000: linia przerywana środki budynków oddalonych o wielkość określonych warunkiem bliskości, linia kropkowana to ośnowa kartograficzna wraz z wierzchołkami rozpoznawalnymi w zadanej skali, linia ciągła obiekt po zastosowaniu prostokątowania po prawej przygotowany obiekt nałożony na mapę w skali (źródło: własne)

Przedstawione badania potwierdzają zasadność wykorzystania modelu deterministycznego w procesie uogólnienia dla obiektów zabudowy. Model deterministyczny działa gdy zapewniona jest topologia przed procesem uogólnienia i po procesie. Jednoznaczne wyznaczenie osnowy kartograficznej pozwala na weryfikację wyniku i wizualizację zgodną z miarą rozpoznawalności rysunku. Ośnowa kartograficzna decyduje o progach generalizacji dla pojedynczego obiektu lub ich grupy. Przedstawiony w artykułach [25, 37, 45] algorytm uogólnienia jest procesem jednoznacznym, niezależnym od operatora oraz powtarzalnym i podlega on weryfikacji poprzez wymiary minimalne rysunku. Potwierdza to postawione tezy i możliwość zastosowania przedstawionej metody do aktualizacji ciągłej obiektów zabudowy dla standardowych opracowań kartograficznych.

Moim wkładem w wymienionych publikacjach jest badanie istotności niezmienników i osnowy kartograficznej w procesie generalizacji budynków, a także zaprojektowanie algorytmów uogólnienia budynków. W publikacjach przedstawiłem także rozważania nad funkcjonowaniem osnowy kartograficznej, której działanie dla obiektów zabudowy zostało szerzej przedstawione w niniejszym opracowaniu.

Podsumowując moje badania nad uogólnieniem w zakresie obiektów zabudowy podkreślić należy:

- konieczność uwzględnienia strukturalnego wpływu obiektów sieciowych (rzek, komunikacji) na proces segmentacji warstwy budynków,

- uporządkowanie wierzchołków zbioru wejściowego budynków z uwzględnieniem relacji topologicznych (wyznaczenie węzłów i krawędzi wspólnych),
- wyznaczenie w sposób jednoznaczny osnowy kartograficznej dla pojedynczych budynków z uwzględnieniem węzłów,
- przeprowadzenie procesu uogólnienia w oparciu o normę rozpoznawalności, która jest wartością stałą niezależną od użytkowania ale zmienną z względu na skalę,
- uwzględnienie w algorytmach dla operatorów wartości minimalnych wymiarów oraz sposobu symbolizacji (Rys. 2).

W publikacji pt „**Porównanie wybranych algorytmów upraszczania linii na przykładzie reprezentatywnego obszaru testowego, Comparison of selected simplification algorithms on the example of a representative test area**” przedstawione zostały badania nad operatorem upraszczania obejmujące między innym:

- porównanie wyników wybranych algorytmów (w publikacji zawarta została część tych badań),
- uzasadnienie konieczności stosowania parametru niezależnego od operatora,
- wpływ konfliktów na ocenę algorytmów upraszczania,
- znaczenie punktów charakterystycznych w upraszczaniu.

W kartografii operator upraszczania jest jednym z najczęściej wykorzystywanych, a obecnie istnieje duża grupa algorytmów wykonujących ten proces w technologii cyfrowej automatycznie. Jako pierwszy algorytm upraszczania uznaje się algorytm Perkala (1966) oraz Langa (1969). W drugiej połowie ubiegłego wieku powstała największa liczba algorytmów upraszczania. Z okresu tego pochodzi jeden z najpopularniejszych algorytmów Douglasa-Peukera (1973). Algorytm ten posiada swoją implementację nie tylko w oprogramowaniach, których zadaniem jest przetwarzanie danych przestrzennych (ArcGIS, Grass), a także w oprogramowaniach do wspomagania projektowania inżynierskiego (MicroStation, AutoCAD). 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. W 1999 roku Chrobak opracował algorytm oparty na modelu deterministycznym co pozwala na jednoznaczny wynik procesu tym algorytmem. Jest to możliwe dzięki następującym własnościom: zastosowania trójkąta elementarnego, ekstremów lokalnych krzywej, wymiarów minimalnych rysunku zależnych od skali. Algorytm ten posiada możliwości wprowadzenia dowolnej wartości tolerancji liniowej na podstawie funkcji zależnej od opracowywanej skali. W niniejszym artykule podjąłem badania celem porównania tego algorytmu z innymi funkcjonującymi w GIS. Miarą oceny jest liczba pozostających faktów geograficznych przetworzonych w różnych skalach. Porównując liczbę wierzchołków, pozostałych po upraszczaniu dla różnych algorytmów, ich ilość wahała się względem wyniku uzyskanego algorytmem Chrobaka o ponad 30%.

Do porównania wybrano algorytmy posiadające swoje implementacje w oprogramowaniu GIS, a więc z punktu użytkownika najczęściej wykorzystywane. Drugim czynnikiem decydującym o wyborze algorytmów była możliwość wprowadzenia tolerancji liniowej. Wybranymi algorytmami są:

- algorytm Langa (Lang1969),
- algorytm Reumanna-Witkama (Reumann i Witkam 1974),
- algorytm Douglasa-Peuckera (Douglas i Peucker 1973),
- algorytm Visvalinghama - Whyatta (1993),
- algorytm Wanga (Wang, Müller 1998),
- metoda Chrobaka (Chrobak 1999).

Istotnym elementem badania algorytmów jest sposób ustalenia parametru tolerancji. W przypadku przeprowadzonych badań parametr ten został wyznaczony dla wszystkich algorytmów na podstawie minimalnych wymiarów rysunku Saliszczewa (1989) i miary rozpoznawalności Chrobaka (1999). Takie rozwiązanie pozwala na

porównanie wyników uwzględniających ten sam warunek początkowy dla wszystkich algorytmów.

Miara rozpoznawalności wprowadzona do procesu upraszczania powoduje jednoznaczność otrzymanych wyników procesu upraszczania. Zastosowanie miary jest możliwe dla innych algorytmów lecz należy je przekształcić w zależności od parametrów wymaganych przez poszczególne algorytmy. Algorytm Chrobaka wykazał się najmniejszymi zmianami w zakresie liczby wierzchołów usuniętych z krzywej, oddając po upraszczaniu prawidłowe odzwierciedlenie rzeczywistości geograficznej.

Tab. 3. Zestawienie konfliktów zewnętrznych (Z) i wewnętrznych (W) dla wybranych algorytmów upraszczania (źródło: własne)

Mianownik skali	Douglas-Peucker			Lang			Reumann-Witkam			Chrobak		
	Z	W	Razem	Z	W	Razem	Z	W	Razem	Z	W	Razem
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20000	0	0	0	0	2	2	4	4	8	0	0	0
30000	2	0	2	0	1	1	6	13	19	0	0	0
40000	4	6	10	4	7	11	4	16	20	0	0	0
50000	6	14	20	4	7	11	6	9	15	0	0	0
60000	6	10	16	0	13	13	8	16	24	0	0	0
70000	8	8	16	2	12	14	4	15	19	0	2	2
80000	8	7	15	2	9	11	2	8	10	0	3	3
90000	8	8	16	2	9	11	0	6	6	0	2	2
100000	8	7	15	0	8	8	2	2	4	0	0	0
150000	8	8	16	2	7	9	8	3	11	4	3	7
200000	6	11	17	2	2	4	2	8	10	0	13	13
250000	4	11	15	2	2	4	2	0	2	4	6	10
500000	2	6	8	0	3	3	0	0	0	4	2	6
750000	0	2	2	0	3	3	3	1	4	2	1	3

Pojawienie się konfliktów nie jest do uniknięcia, chyba że zostanie zastosowana osnowa kartograficzna. Osnowę kartograficzną każdego obiektu określają punkty stałe, które nie ulegają usunięciu w procesie upraszczania. Ich usunięcie z mapy ma miejsce gdy geometria obiektu na mapie zastępowana jest przez symbol. Jednakże liczba tych konfliktów jest jedną z miar jakości przeprowadzonego procesu upraszczania.

Problemy upraszczania i konfliktów są przedmiotem moich badań szczególnie w zakresie uzyskania jednoznaczności ich wyników, a wyniki niektórych badań znalazły się w publikacjach dotyczących procesów niezmiennych.

Ponadto liczba konfliktów wskazuje na ilość błędów topologicznych obiektów po procesie upraszczania i jest miarodajnym wskaźnikiem poprawności danego algorytmu.

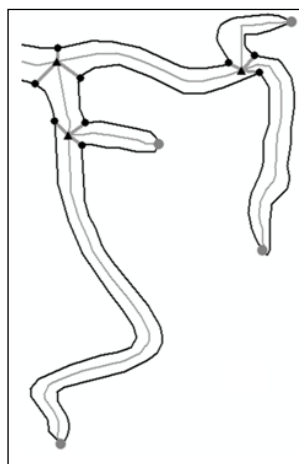
Wyniki badań w tym zakresie przedstawia współautorska publikacja pt: **„Wyznaczenie punktów stałych obiektów przestrzennych na drodze automatycznej, Automatic determination of spatial objects invariant points”**, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing, vol. 23, s. 179–186, współautorami byli Stanisław Szombara oraz Jolanta Knecht.

Osnowę kartograficzną obiektów liniowych stanowią punkty początku i końca linii łamanej oraz wyróżnione jej wierzchołki. Dla obiektów powierzchniowych punktem charakterystycznym (stałym) są środki geometryczne obszarów (punkty matematyczne), które mogą tworzyć odcinki z punktami granicznymi innych obiektów [25]. Jednym z podstawowych celów badań nad generalizacją jest zwiększenie stopnia jej automatyzacji i zwiększenie niezawodności procesu. Pierwszy poruszony problem jest złożonym i zależnym między innymi od uzyskania jednoznaczności procesów, natomiast niezawodność procesu to nie tylko wykonalność funkcji z punktu widzenia informatycznego, ale przede wszystkim zmniejszenie liczby konfliktów dla wyniku tego procesu na co mają wpływ punkty stałe.

Wyznaczenie punktów stałych (osnowy kartograficznej) jako atrybutu obiektu liniowego o powierzchniowego mapy w procesie jego generalizacji do zadanej skali pozwala na uproszczenie go w sposób jednoznaczny, a co za tym idzie niezależny

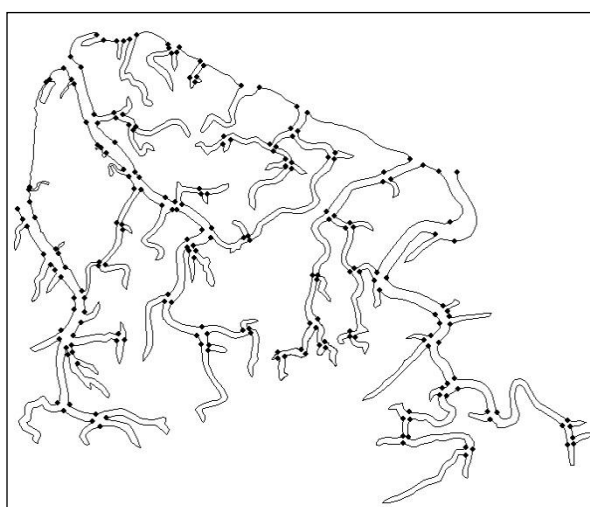
od użytkownika (Chrobak, 2010). Jednoznaczność wyników procesu cyfrowej generalizacji kartograficznej jest niezbędną cechą danych zarządzanych przez wielorozdzielcze/wieloreprezentacyjne bazy typu MRDB (ang. *multiresolution/multirepresentation data base*) (Hampe *et al.*, 2003). Wyznaczenie punktów stałych obiektów umożliwia nadanie hierarchii ich częściom, co pozwala określić proces ich wyznaczania, jako przynależny do topograficznego modelu rzeczywistości geograficznej (ang. *Digital Landscape Model*) (Grünreich, 1995). Proces ustalania punktów stałych każdego obiektu jest elementem porządkowania danych dla procesu generalizacji.

Moim wkładem bezpośrednim w publikacji było opracowanie modelu algorytmu opartego na minimalnych wymiarach rysunku oraz lokalnych ekstremach, wyznaczającego punkty charakterystyczne dla obiektów naturalnych (Rys. 12). Obiektem testowym było wybrzeże z ujściami rzecznyymi i licznymi zatokami (wybrzeże Wielkiej Brytanii). Podstawą wyznaczenia punktów jest ustalenie punktów początkowych, końcowych oraz węzłowych grafu płaskiego, którego krawędzie można poddać uporządkowaniu. Na uporządkowanie krawędzi mają wagi krawędzi ustalone od początkowego węzła do końcowego. Przykładowo jezioro posiada swój początek w miejscu wpływania rzeki, a koniec w jej wypływie. Punkty te stanowią niezmienniki dla operatorów generalizacji i podlegają eliminacji wraz z wygaśnięciem relacji między obiektami tworzącymi punkt niezmienny. Ich skomplikowany kształt będzie mógł powodować większą liczbę konfliktów, wyznaczenie punktów charakterystycznych zaprojektowanym algorytmem wyznacza punkty podziału i punkty maksymalne (Rys. 12) przyczyniając się do mniejszej liczby konfliktów.



Rys. 12. Fragment linii brzegowej z wyznaczonymi punktami charakterystycznymi: a) punkty maksymalne – szare kropki, b) węzły - trójkąty, c) punkty podziału – czarne kropki (źródło: własne)

Wynika z tego że na uporządkowanie grafu reprezentującego obiekt powierzchniowy mają cechy topologiczne i wartości atrybutów encji dla węzłów. Takie uporządkowanie uwzględnia jedynie logiczne powiązania między składowymi, natomiast wielkość obiektu wyraża długość krawędzi, która podlega rozpoznawalności, stąd możliwość określenia eliminacji poszczególnych gałęzi.



Rys. 13. Fragment linii brzegowej obszaru hydrograficznego Wielkiej Brytanii (OS) z wyznaczonymi punktami stałymi (źródło: własne)

Przeprowadzone badania wskazują, że zaproponowany algorytm pozwala na wyznaczenie punktów stałych obiektu w sposób automatyczny (Rys. 13). Algorytm przedstawiony w postaci pseudo kodu może być zapisany w postaci procedur w dowolnym języku lub z wykorzystaniem narzędzi wspomagania projektowania modeli analiz przestrzennych (np. ModelBuilder ArcGIS). Zaprojektowany algorytm oraz

przeprowadzone testy pozwalają na wyznaczenie punktów charakterystycznych obiektów (o dużym skomplikowaniu), a w ten sposób uzyskać jednoznaczną klasyfikację skomplikowanych obiektów naturalnych. Pozytywny wpływ punktów charakterystycznych powoduje uporządkowanie przebiegu procesu, a tym samym wpływa na zwiększenie automatyzacji procesu generalizacji. Zastosowanie punktów charakterystycznych ułatwia także aktualizację obiektów w bazach typu MRDB. Przeprowadzone testy wykazały przydatność wyznaczenia punktów charakterystycznych tak dla obiektów liniowych i powierzchniowych o charakterze naturalnym.

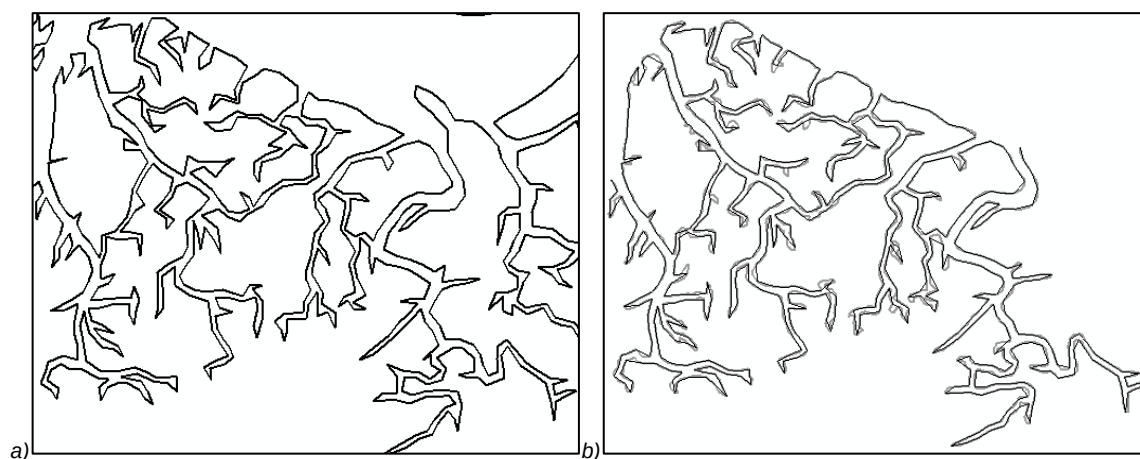
We współautorskiej publikacji pt. **„Wyznaczenie punktów stałych obiektów przestrzennych na drodze automatycznej”** moim bezpośrednim wkładem było zaprojektowanie algorytmu automatycznego wyznaczenia punktów stałych.

Algorytm automatycznego wyznaczenia punktów charakterystycznych przedstawiony w poprzedniej publikacji nakłonił mnie do zbadania ich wpływu na proces upraszczania **„Znaczenie punktów stałych obiektu w procesie upraszczania, The importance of fixed points in the simplification proces”**, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing; ISSN 2083-2214 vol. 23, s. 169–177.

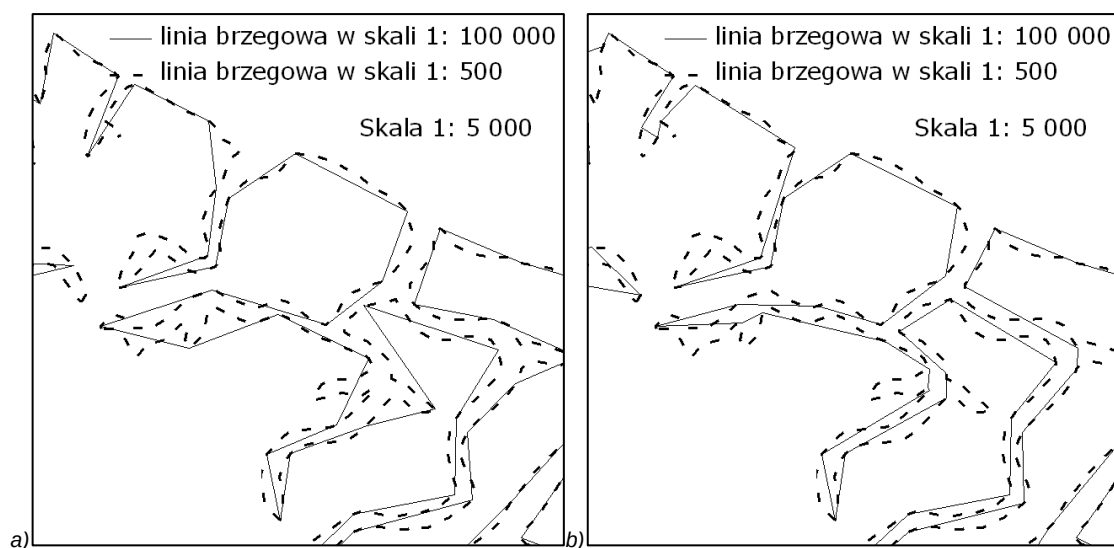
Uwzględnienie wyznaczonych punktów charakterystycznych (stałych) w algorytmach upraszczania badałem dla różnych algorytmów upraszczania (Douglasa-Peuckera, Visvalingam i Whyatta, Wanga, metodę Chrobaka) przy braku punktów stałych oraz przy ich istnieniu. Wyniki badań operatora upraszczania zostały podane ocenie poprzez:

- wyznaczenie liczby wierzchołków po procesie,
- liczby konfliktów powstałych po uproszczeniu (Tab. 4 i Tab. 5),
- wartości średnich rzędnych między segmentami linii pierwotnej i wtórnej.

Poniżej zostały zaprezentowane materiały uzupełniające do omawianej publikacji, które nie zostały umieszczone w publikacji. Materiały te przedstawiają szerszy aspekt poruszanego problemu oraz uzupełniają wyniki z przeprowadzonego doświadczenia.



Rys. 14. Fragment linii brzegowej uproszczonej metodą Chrobaka skala docelowa 1: 50 000:
a) bez punktów stałych, b) z punktami stałymi (źródło: własne)



Rys. 15. Fragment linii brzegowej uproszczonej metodą Chrobaka: a) bez punktów stałych,
b) z punktami stałymi (źródło: własne)

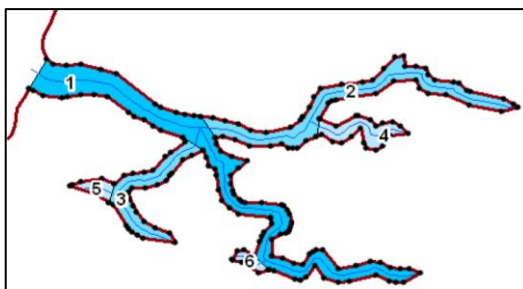
Tab. 4. Zestawienie konfliktów dla upraszczania linii brzegowej bez punktów stałych (źródło: własne)

Mianownik skali	Douglas-Peucker			Lang			Reumann-Witkam			Chrobak		
	Z	W	Razem	Z	W	Razem	Z	W	Razem	Z	W	Razem
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20000	0	0	0	0	2	2	4	4	8	0	0	0
30000	2	0	2	0	1	1	6	13	19	0	0	0
40000	4	6	10	4	7	11	4	16	20	0	0	0
50000	6	14	20	4	7	11	6	9	15	0	0	0
60000	6	10	16	0	13	13	8	16	24	0	0	0
70000	8	8	16	2	12	14	4	15	19	0	2	2
80000	8	7	15	2	9	11	2	8	10	0	3	3
90000	8	8	16	2	9	11	0	6	6	0	2	2
100000	8	7	15	0	8	8	2	2	4	0	0	0
150000	8	8	16	2	7	9	8	3	11	4	3	7
200000	6	11	17	2	2	4	2	8	10	0	13	13
250000	4	11	15	2	2	4	2	0	2	4	6	10
500000	2	6	8	0	3	3	0	0	0	4	2	6
750000	0	2	2	0	3	3	3	1	4	2	1	3

Tab. 5. Zestawienie konfliktów dla upraszczania linii brzegowej z punktami stałymi (źródło: własne)

Mianownik skali	Douglas-Peucker			Lang			Reumann-Witkam			Chrobak		
	Z	W	Razem	Z	W	Razem	Z	W	Razem	Z	W	Razem
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20000	0	4	4	1	0	1	6	9	15	0	0	0
30000	0	2	2	0	0	0	12	3	15	0	0	0
40000	2	2	4	4	4	8	11	3	14	0	0	0
50000	2	0	2	10	6	16	8	10	18	0	0	0
60000	4	0	4	6	5	11	8	2	10	0	0	0
70000	1	0	1	7	2	9	8	3	11	0	0	0
80000	1	1	2	5	3	8	6	1	7	0	1	1
90000	1	2	3	5	2	7	5	3	8	0	1	1
100000	4	2	6	5	0	5	7	1	8	0	0	0
150000	6	0	6	6	0	6	4	0	4	6	0	6
200000	6	0	6	4	0	4	2	1	3	5	0	5
250000	3	0	3	2	0	2	1	0	1	3	0	3
500000	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2
750000	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2

Zastosowanie punktów stałych obiektów pozytywnie wpływa na podobieństwo krzywych przed i po upraszczaniu (Rys. 14, Rys. 15). Zastosowanie punktów stałych obiektu prowadzi do jednoznaczności wyniku procesu upraszczania. Dzięki zastosowaniu punktów stałych można podzielić obiekt złożony na mniejsze i przeprowadzić ich klasyfikację z uwzględnieniem momentu eliminacji poszczególnych punktów stałych. Eliminacja części obiektu złożonego następuje gdy jej oś nie spełnia warunku wystarczającego i koniecznego miary rozpoznawalności rysunku (Chrobak 1999). Zabieg taki prowadzi do uzyskania hierarchii niezbędnej dla jednoznacznego działania operatorów generalizacji (Rys. 16).



Rys. 16. Fragment linii brzegowej z oznaczoną hierarchią (1- najważniejszy, 6 – najmniej istotny) składowych dla obiektu złożonego (wykonał: S. Szomabara)

Miara rozpoznawalności obiektów liniowych wprowadzona do procesu upraszczania powoduje jednoznaczność otrzymanych wyników oraz wprowadza niezależność parametrów procesu od operatora. Miara ma zastosowanie dla wszystkich algorytmów lecz należy ją przekształcić w zależności od parametrów wymaganych tymi algorytmami. Konflikty pojawiające się w procesie upraszczania są nie do uniknięcia, jednakże ich liczba jest miarą jakości procesu upraszczania.

Algorytmy zależne od skali, które charakteryzuje brak parametru zależnego od użytkownika, wykazują najmniejszą liczbę zmian w zakresie liczby wierzchołków opisujących łamaną oraz najmniejszą liczbą konfliktów (Tab. 4, Tab. 5). Wynik upraszczania tymi algorytmami przedstawia obiekt uproszczony w kształtach bliższych do oryginału i mniejszej liczby konfliktów. Algorytmy zależne od skali można stosować bez ograniczeń ilościowych dla danych źródłowych i powinny stać się one jednymi z algorytmów stosowanych w narzędziach GIS.

Badania nad algorytmami upraszczania oraz ich parametryzacją (w przypadku algorytmów zależnych od użytkownika), a także podjęte badania nad punktami stałymi obiektów w operatorach generalizacji przyczyniły się do prac nad algorytmem tworzenia uogólnionych obiektów naturalnych. Założeniem wyjściowym dla takiego algorytmu jest nacisk na ustalenie odpowiednich punktów reprezentujących dany obiekt w danej skali, które nie muszą być wierzchołkami tego obiektu w skali pierwotnej. Zaprojektowany algorytm był prezentowany między innymi na międzynarodowej konferencji Kartograficznej w Dreźnie oraz na konferencji Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej w Warszawie.

Opis algorytmu znalazł się między innymi w materiałach konferencyjnych ICC 2013 from pole to pole XXVI International Cartographic Conference: August 25–30, 2013, Dresden, Germany proceedings ed. Manfred F. Buchroithner, ISBN 978-1-907075-

06-3,

S.

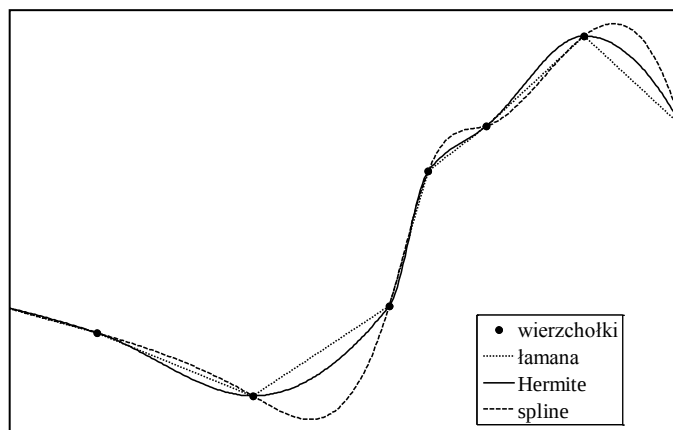
[1–19]

http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/ICC2013_Proceedings.pdf w artykule pt: **“New method of creation data for natural objects in MRDB based on new simplification algorithm”**, a także na dorocznej konferencji Polskiego Towarzystwa Informatyki w artykule pt: „Algorytm upraszczania linii z wykorzystaniem interpolacji, A line simplification algorithm using interpolation”.

Bezpośrednim moim wkładem we współautorskiej publikacji pt: **“New method of creation data for natural objects in MRDB based on new simplification algorithm”** było utworzenie algorytmu upraszczania oraz przetestowanie wpływu interpolacji na geometrię obiektu celem odtworzenia najbardziej prawdopodobnego kształtu obiektu.

W działaniu algorytmu jest przekształcenie obiektu źródłowego do postaci krzywych ciągłych. Zadość uczynienie temu założeniu uzyskujemy poprzez:

- wykorzystanie danych dyskretnych dla obiektu reprezentowanego w skalach BDOT500 (1 : 500 – 1: 5 000),
- użycie interpolacji zapewniającej (Rys. 17) stałość liczby ekstremów lokalnych funkcji.



Rys. 17. Fragment obiektu naturalnego reprezentowanego przez punkty dyskretne (wierzchołki) oraz dwie reprezentacje interpolowanego obiektu: Hermite (linia ciągła), metoda krzywych sklejanych -spline (linia przerywana) (źródło:własne)

Na podstawie przeprowadzonych testów polegających na badaniu warunków:

$$f(x) = l(x) \quad (4)$$

$$f'(x) = l'(x) \quad (5)$$

wybrana została interpolacja Hermite:

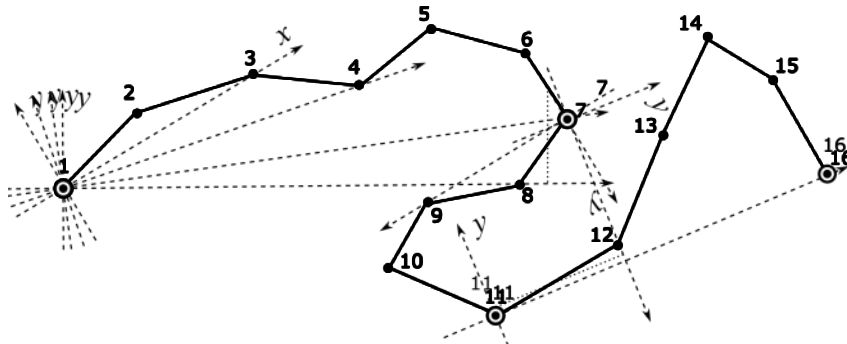
$$H(x) = \sum_{j=0}^n f(x_j) H_{n,j}(x) + \sum_{j=0}^n f'(x_j) \hat{H}_{n,j}(x) \quad (6)$$

Uzyskanie poprawnej interpolacji wymaga podzielenia obiektu liniowego o skomplikowanym kształcie na fragmenty które spełniać będą warunek surjekcji:

$$\forall y \in Y \exists x \in X f(x) = y, \quad (7)$$

Wyznaczenie fragmentów łamanej oparte jest na wyznaczaniu lokalnego układu prostokątnego o początku w węźle początkowym łamanej o kierunku osi ox zgodnej z kierunkiem początek-koniec łamanej (Rys. 18). Następnie badano kolejne wierzchołki czy spełniają warunek:

$$\forall y \in [y_{\min} [y_i, S_j], y_{\max} [y_i, S_j]] \exists x \in [0, x_{\max} [x_i, S_j]] : f(x) = y \quad (8)$$



Rys. 18. Fragment obiektu naturalnego reprezentowanego przez punkty dyskretne wraz z wizualizacją przebiegu algorytmu wyznaczenie punktów (7, 11) jego podziału na fragmenty spełniające warunek suriekcji (źródło: własne)

Po podziale i interpolacji algorytm wyznacza na krzywych ciągłych będących składowymi obiektu krzywoliniowego punkty pośrednie według następującego schematu:

1. ustalenie ekstremów lokalnych,
2. ustalenie hierarchia ekstremów lokalnych,
3. wybór ekstremów istotnych w skali docelowej M_k ,
4. rozmieszczenie punktów pośrednich.

Ustalenie hierarchii ekstremów oraz ich wybór ze względu na skalę docelową odbywa się zgodnie z normą rozpoznawalności bazującą na trójkącie elementarnym (Chrobak 2010):

$$\varepsilon_{01} = 0,5[\text{mm}] * M_k \quad b \in [(0,6\text{mm} - 0,7\text{mm}) * M_k], \quad (9)$$

$$\varepsilon_{02} \geq 0,5[\text{mm}] * M_k \quad b \in [0,4\text{mm} * M_k] \quad (10)$$

Punkty pośrednie rozmieszczone są zgodnie z normą rozpoznawalności oraz dodatkowo sprawdzany jest warunek Piątkowskiego (Rys. 19). Dla pierwotnej generalizacji Piątkowski ustalił empirycznie, dopuszczalną długość rzędnej – e zawartą pomiędzy cięciwą a łukiem krzywej (zwaną strzałką). Długość strzałki zależy od skali mapy i jej postać jest następująca:

$$e \leq 0,3\text{mm} * M_0, \quad (11)$$

gdzie: M_0 - mianownik skali mapy źródłowej, w której są pozyskiwane dane.

Mianownik skali - M_0 w każdym procesie upraszczania, spełnia warunek:

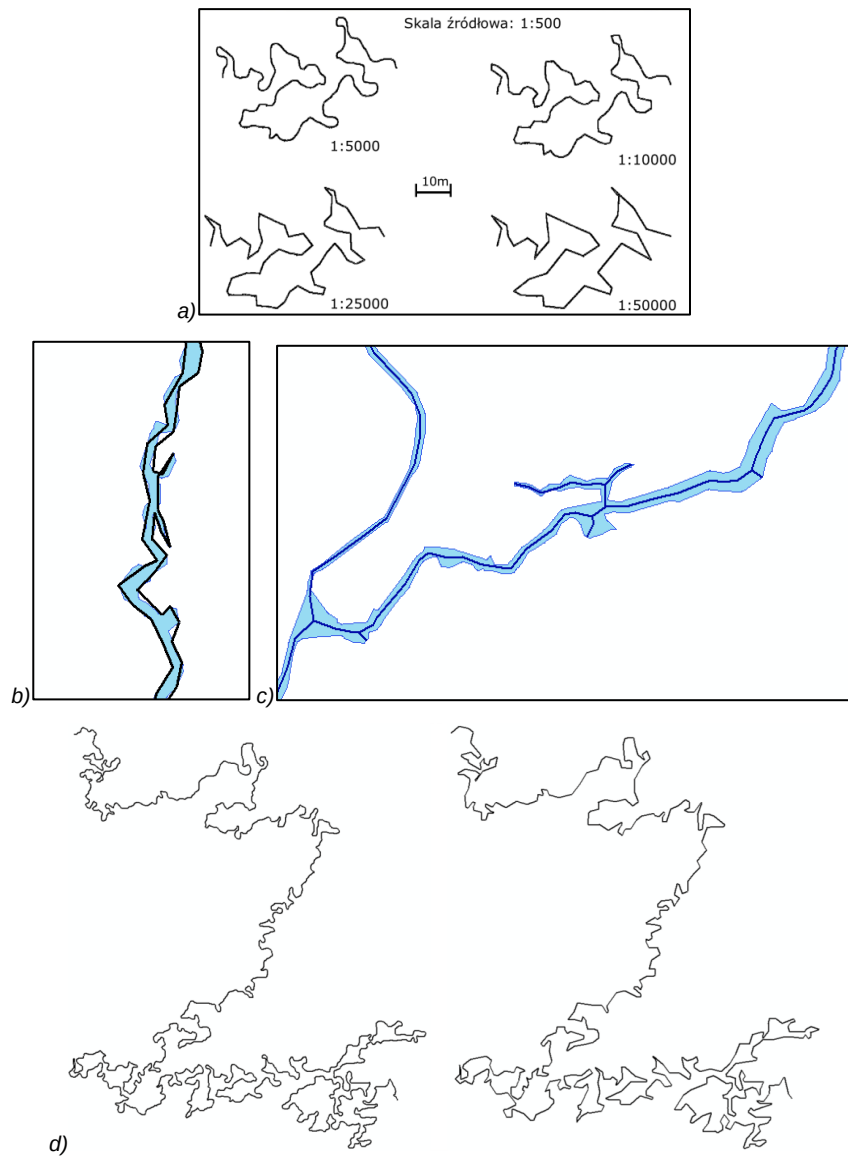
$$M_0 < M_k, \quad (12)$$

gdzie: M_k - mianownik skali mapy redagowanej, dla której dane są w skali 1 M_0 .

Najważniejszymi cechami przedstawionego algorytmu jest:

1. jednorazowa zamiana łamanej na krzywą,
2. metoda interpolacji zachowująca lokalne ekstrema,
3. wyznaczenie punktów pośrednich zależne od skali,
4. wyznaczenie punktów pośrednich w modelu deterministycznym przez zastosowanie generalizacji pierwotnej i trójkąta elementarnego.

Przykłady zastosowania opisanego algorytmu.



Rys. 19. Przykłady zastosowania algorytmu opartego na interpolacji dla: a) danych BDOT500 do skal docelowych o mianownikach 5 000, 10 000, 25 000 i 50 000, b) obiekt naturalny reprezentowany w skali i jego uproszczony przebieg (BDOT500 -> BDOT10k), c) obiekt naturalny reprezentowany w skali i uproszczony przebieg jego osi (BDOT500 -> BDOO), d) po lewej dane po klasyfikacji obiektowej z obrazów HRV po prawej ich uproszczony przebieg (model obrazowy -> BDOT10k) (źródło: własne)

- Balley S., i inni, 2014, Map Specifications and User Requirements, Abstracting Geographic Information in a Data Rich World, Springer International Publishing, 17-52.
- Chrobak T., 1999, Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej, UWND AGH Kraków.
- Chrobak T., 2000, Numerical Method for Generalizing the Linear Elements of Large-Scale Maps, Based on the Example of Rivers, Cartographica, Volume 37.
- Chrobak T., 2010, The role of least image dimensions in generalization of object in spatial databases, Geodesy and Cartography, Polish Committee for Scientific Research.
- Douglas D. H., Peucker T. K., 1973, Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature, The Canadian Cartographer, Vol. 10, No. 2, pp. 112–122.
- Hadjigeorgiou Ch., 2013 RDBMS vs NoSQL: Performance and Scaling Comparison, (2013).
- Harrie L., Weibel R., 2007, Modelling the overall process of generalisation. In: Generalisation of geographic information: cartographic modelling and applications (2007): 67-87.
- Lang T., 1969, Rules for the Robot Draughtsmen, The Geographical Magazine, 42(1), pp. 50–51.
- Li Z, 2007. Algorithmic Foundation of Multi-scale Spatial Representation. CRC Press (Taylor & Francis Group). (ISBN: 0849390729). 280pp.
- Mackaness WA, Ruas A, Sarjakoski LT (2007) Observations and Research Challenges in Map Generalisation and Multiple Representation. In: Mackaness WA, Ruas A, Sarjakoski LT (eds) Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications, Elsevier, pp 315–323
- Müller J-C., 1991. Generalization of spatial databases. In D.J Maguire Goodchild M.F. Rhind D.W. (eds), Geographic information systems. London: Longman Ltd, pp. 457-75.

- Müller, J.-C., 1990. Rule Based Generalization: Potentials and Impediments. In: Proceedings of 4th International Symposium on Spatial Data Handling, Vol. 1, pp. 317-334.
- Perkal J., 1966. An attempt at objective generalization. Discussioi Paper No. 10. Ann Arbor, Mich: Michigan Inter-Universit Community of Mathematical Geographers. Paper translate« by W. Jackowski from Julian.
- Piątkowski F., 1969. Kartografia - Redagowanie map i reprodukcja kartograficzna, PWN Warszawa.
- Regnault, N., R.B. McMaster. (2007). A synoptic view of generalisation operators. In W.A. Mackaness, A. Ruas, L.T. Sarjakoski (eds), Generalisation of geographic information: cartographic modelling and applications. Oxford, UK: Elsevier, pp. 37-66.
- Reumann K., Witkam A. K. P., 1974, Optimizing curve segmentation in computer graphics, Proceedings. International Computing Symposium, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, s. 52-78.
- Rozporządzenie ministra administracji i cyfryzacji z 12 lutego 2013 r. w sprawie bazy danych geodezyjnej ewidencji sieci uzbrojenia terenu, bazy danych obiektów topograficznych oraz mapy zasadniczej (Dz.U. 2013 nr 0 poz. 383)
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych (DzU 2011 nr 279, poz. 1642)
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 października 2010 w sprawie ewidencji zbiorów i usług danych przestrzennych objętych infrastrukturą informacji przestrzennej (DzU 2010 nr 201, poz. 1333)
- Saliszczev K.A., 1998, Kartografia ogólna, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
- Sarjakoski T, Sarjakoski LT (2007) A real-time generalisation and map adaptation approach for location-based services. In: Mackannes WA, Ruas A, Sarjakoski LT (eds) Generalisation of geographic information: cartographic modelling and applications. Elsevier, Amsterdam, pp 137–159

- Sester, Monika, and Claus Brenner. "Continuous generalization for visualization on small mobile devices." *Developments in Spatial Data Handling*. Springer Berlin Heidelberg, 2005. 355-368.
- Sester, Monika. "Generalization based on least squares adjustment." (2000).
- Swiss Society of Cartography: *Topographic Maps: Map Graphics and Generalisation*, Cartographic Publication Series No. 17, 2005
- Visvalingam M., Whyatt J. D., 1993. Line Generalisation by Repeated Elimination of Points *Cartographic Journal*, vol. 30, no. 1, pp. 46-51.
- Wang Z., 1996. Manual versus Automated Line Generalization, In: *Proceedings of GIS/LIS '96*, Denver, Colorado, 94 - 106.
- Wang Z., Müller J-C., 1998. Line Generalization based on Analysis of Shape Characteristics. *Cartography and Geographical Information Systems*, 25 (1): 3 - 15.
- Weibel, R., and Dutton, G., (1998) *Constraint-Based Automated Map Generalization*. *Proceedings of the 8th Spatial Data Handling Symposium*, Vancouver, pp. 214-224.
- Lewandowicz E. 2012; *Topological structure of cadastral space*; *Geodezja i Kartografia, Pozyskiwanie i przetwarzanie informacji w geodezji i kartografii*, SAN Łódź, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, str. 46 - 55, (181), ISBN 978-83-7837-011-6
- Bac-Bronowicz J., Kołodziej A., Kowalski P., Olszewski R., 2006. Konwersja bazy danych VMap L2 pierwszej edycji do struktury użytkowej, XVI Konferencja PTIP, Geoinformacja w Polsce, Warszawa.
- Gotlib D., Olszewski R., 2005. Możliwość wymiany danych między bazą SITop a bazami VMap, [w:] A. Makowski (red.), *System informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- Gotlib D., 2009, Wybrane aspekty modelowania wielorozdzielczych i wieloreprezentacyjnych baz danych topograficznych, *Geomatics and Environmental Engineering* 3.1/1.

Bac-Bronowicz J., Grzempowski P. Nowak R., 2009, Zasilanie wielorozdzielczej bazy danych topograficznych danymi z ewidencji gruntów i budynków, Geomatics and Environmental Engineering 3 45-58.

