

# Kontekstowa generalizacja konturów zabudowy z wykorzystaniem narzędzi morfologii matematycznej

Context-dependent buildings generalisation  
based on mathematical morphology operations

Izabela Karsznia<sup>1</sup>, Marta Leszczuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych,  
Zakład Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji,  
Instytut Geodezji i Geoinformatyki

**Słowa kluczowe: generalizacja kartograficzna, morfologia matematyczna, zabudowa, baza danych obiektów topograficznych**

Keywords: cartographic generalisation, mathematical morphology, settlements, topographic database

## Wstęp

Człowiek od najdawniejszych lat przejawiał potrzebę uporządkowania otaczającej go rzeczywistości, czego dowodem są znalezione w grotach szwajcarskich, prymitywne rysunki kartograficzne najbliższej okolicy, będące dziełem ludów pierwotnych (Szaflarski, 1965). Efektem organizowania przestrzeni, które pozwoliło na lepsze jej poznanie i zrozumienie, jest mapa, przedstawiająca obraz Ziemi w sposób umowny, uproszczony oraz zmniejszony. Nieodłącznym elementem procesu produkcji map jest ich generalizacja, stanowiąca niezwykle skomplikowane zagadnienie, z którym na przestrzeni lat zmagali się kolejne pokolenia kartografów (Iwaniak i in, 1998). Ewolucja podejścia do generalizacji kartograficznej, począwszy od manualnej redakcji map aż do automatyzacji tego procesu, przyczyniła się do minimalizacji subiektywizmu, którego źródło stanowią poparte doświadczeniem decyzje podejmowane przez kartografa, a tym samym do zwiększenia stopnia powtarzalności całego procesu. Szczególnie problematyczną kwestią, ze względu na złożoność i kompleksowy charakter, jest generalizacja konturów zabudowy, które wraz ze zmniejszaniem skali mapy, ulegają największym zmianom w reprezentacji. Rezultat powinien uwzględniać zarówno predyspozycje percepcyjne oka ludzkiego, jak i specyfikę geograficzną obiektów, która obejmuje w szczególności kształt, układ przestrzenny, cechy funkcjonalne oraz sąsiedztwo (Karsznia, Ostrowski, 2011). Wiele algorytmów rozpatruje proces generalizacji w kontekście wyłącznie geometrycznym, pomijając semantykę obiektów. Optymalne rozwiązanie problemu polega na syntezie obu tych aspektów w celu uzyskania wyniku generalizacji spójnego dla całej mozaiki poligonów, a nie jedynie pojedynczych jej elementów (Galanda, 2001). Stawiane wymagania spełniają operacje morfologii matematycznej, pozwalające na uwypuklenie charakterystycz-

nych cech obiektów z uwzględnieniem kontekstu ich występowania (Karsznia, Ostrowski, 2011). Poszukiwanie algorytmów generalizacji konturów zabudowy, które sprostałyby warunkom formalnym, dyktowanym przez rozporządzenia i pozwoliły na automatyzację procesu w środowisku GIS, stanowi motywację do podjęcia tematyki niniejszego opracowania.

Celem badań jest próba formalizacji zasad generalizacji osadnictwa oraz sieci dróg bazy danych obiektów topograficznych (BDOT10k), zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych, zwanym dalej rozporządzeniem (Rozporządzenie, 2011), w postaci kartograficznej bazy wiedzy oraz jej implementacja z wykorzystaniem narzędzi morfologii matematycznej i innych algorytmów generalizacji.

## Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań jest generalizacja osadnictwa oraz ściśle związanej z nim sieci dróg bazy danych obiektów topograficznych z poziomu szczegółowości 1:10 000 do poziomu szczegółowości 1:50 000 na dwóch obszarach testowych – powiecie złotoryjskim i łowickim.

W projektowaniu algorytmów generalizacji ważnym elementem jest modułowa konstrukcja systemu, przystosowana do rozwiązywania różnorodnych konfliktów graficznych. Korzystne jest, aby zamiast jednego złożonego algorytmu, zaimplementować szereg prostych, współdziałających ze sobą algorytmów generalizacji. Ponadto algorytmy powinny koncentrować się na całej mozaice poligonów i w efekcie dawać jednolity i spójny zbiór danych, a ich działanie powinno być oparte o przewidywalne i powtarzalne rozwiązania, możliwe do automatyzacji. Kolejnym, dość oczywistym wymaganiem, jest wydajność, związana przede wszystkim z czasem wykonywania obliczeń oraz łatwością użytkowania (Galanda, 2001). Można wyróżnić trzy poziomy automatyzacji algorytmów:

- interaktywne, w których rolę decyzyjną odgrywa kartograf,
- automatyczne,
- zintegrowane, stanowiące moduły w procesie automatycznej generalizacji (Galanda, 2001).

Zarówno manualna, jak i automatyczna generalizacja polega na poszukiwaniu kompromisu pomiędzy dwoma podstawowymi zadaniami, jakie powinna spełniać mapa, to jest odpowiedni dobór jej treści w stosunku do przeznaczenia oraz zapewnienie czytelności (Steiniger, 2007). Cały proces, w ujęciu klasycznym, nadzorowany jest przez kartografa, który opierając się o swoją wiedzę i doświadczenie podejmuje subiektywne decyzje, prowadzące do osiągnięcia oczekiwanego celu redakcyjnego. W celu automatyzacji tego procesu konieczne jest sformalizowanie zasad generalizacji oraz rozłożenie ich na szereg operacji generalizacyjnych, możliwych do zaimplementowania w środowisku komputerowym (Steiniger, 2007). Jest to istotne i niezwykle trudne wyzwanie współczesnej kartografii. W poszukiwanie holistycznej koncepcji generalizacji kartograficznej i opracowanie nowych systemów, mających na celu zbliżenie procesu do pełnej automatyzacji, włożono wiele pracy, jednak nadal pozostaje wiele nierozwiązanych zagadnień (Chrobak i in., 2007).

## Narzędzia morfologii matematycznej

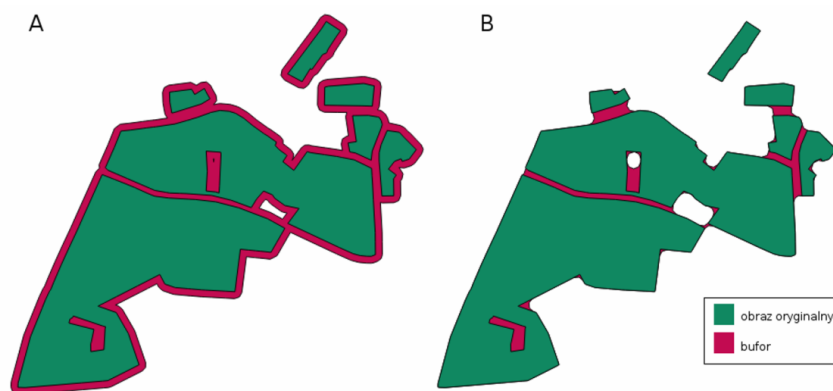
Generalizacja kartograficzna jest procesem, polegającym w dużym stopniu na przetwarzaniu obrazów. Percepcja wzrokowa uzależniona jest od kontekstu występowania analizowanego obiektu, zatem procesy przetwarzania powinny uwzględniać sposób postrzegania

obrazów przez człowieka (Karsznia, Ostrowski, 2011). Możliwości takie dają operacje morfologii matematycznej, pozwalające na zmianę struktury obrazu, w oparciu o analizę kształtu i wzajemnego rozmieszczenia obiektów. Zasadniczym pojęciem w morfologii matematycznej jest tak zwany element strukturujący, który stanowi wycinek obrazu z wyróżnionym tak zwanym punktem centralnym. Od jego wielkości i kształtu zależy wynik przetworzenia morfologicznego, przez odpowiednią modyfikację kształtu obiektu, mającą na celu ujawnienie jego struktury (Kupidura i in., 2010 za Karsznia, Ostrowski, 2011). Przekształcenia morfologiczne w ogólności można zapisać za pomocą następującego algorytmu:

- 1) element strukturujący przemieszczany jest po każdym punkcie obrazu, przy czym wykonywana jest analiza zbieżności tego punktu z punktem centralnym elementu strukturującego,
- 2) w każdym punkcie sprawdzana jest zgodność lokalnej konfiguracji pikseli na obrazie z elementem strukturującym,
- 3) w przypadku wystąpienia zgodności konfiguracji pikseli, wykonywana jest pewna określona dla danego przekształcenia operacja (Tadeusiewicz, Korohoda, 1997).

Przez złożenie podstawowych operacji morfologii matematycznej, takich jak erozja i dylatacja, powstają operacje złożone, na przykład zamknięcie (dylatacja + erozja) i otwarcie (erozja + dylatacja). Erozję definiować można jako proces niszczenia zewnętrznej warstwy obiektu. Miarą stopnia operacji jest rozmiar elementu strukturującego – im większy, tym większa część obiektu zostaje usunięta. Operacją odwrotną do erozji jest dylatacja, którą można zdefiniować jako proces nałożenia na obiekt zewnętrznego pasa, którego miarą jest rozmiar elementu strukturalnego (Karsznia, Ostrowski, 2011).

Operacje morfologii matematycznej, ze względu na możliwość uwzględnienia kontekstu analizowanych obiektów, mogą stanowić dobre narzędzie w procesie generalizacji zabudowy. W odniesieniu do danych przestrzennych, pochodzących z BDOT10k, implementacja narzędzi morfologii matematycznej, które umożliwiają agregację, sprowadza się do realizacji metody podwójnego buforowania obiektów (Karsznia, 2010). Wokół obiektów powierzchniowych, położonych zbyt blisko siebie, tworzony jest bufor. Obiekty, które leżą bliżej niż założone minimum, a zatem te, których bufor się przecinają, są ze sobą łączone. Następnie, w celu powrotu do oryginalnego kształtu obiektów, tworzony jest tak zwany bufor ujemny. Rozmiar buforów stanowi połowa ustalonej minimalnej odległości między zgeneralizowanymi obiektami. Operacja ta realizuje *de facto* operację zamknięcia, znaną z morfologii matematycznej. Przykład działania algorytmu zamknięcia przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Przykład działania operacji zamknięcia: A – dylatacja, B – dylatacja + erozja

## Kartograficzna baza wiedzy

Potrzebę zdefiniowania obiektywnych zasad generalizacji, które mogłyby pomóc w określeniu sekwencji operatorów i ich wzajemnych relacji podkreślano już w latach 90. (Iwaniak i in. 1998). Sekwencja kroków generalizacyjnych wraz ze sposobem ich implementacji, opracowana na podstawie pozyskanej i sformalizowanej wiedzy kartograficznej, opartej na doświadczeniu i umiejętnościach kartografa oraz odpowiednich wytycznych technicznych nazywana jest kartograficzną bazą wiedzy. Na potrzeby prowadzonych badań, w oparciu o standardy pochodzące z rozporządzenia, opracowano bazę wiedzy przedstawioną w tabelach 1-6, umożliwiającą wygenerowanie w procesie generalizacji obiektów przestrzennych o stopniu szczegółowości 1:50 000.

**Tabela 1.** Kartograficzna baza wiedzy – poziom szczegółowości 1:50 000.  
Pozyskanie obiektów z BDOT10k

Operator generalizacji		Kryterium	Implementacja	Uwagi
1	Wybór obiektów z BDOT10k (klasy obiektów: OT_PTZB_A OT_BUBD_A OT_SKDR_L OT_SKJZ_L OT_BUWT_A OT_OIOR_A)	Selekcja wg atrybutów opisanych w Rozporządzeniu MSWiA 2011	Selekcja atrybutowa, QGIS (zaimplementowana we wtyczce)	–

**Tabela 2.** Kartograficzna baza wiedzy – poziom szczegółowości 1:50 000.  
Generalizacja obszarów zabudowy

Operator generalizacji		Kryterium	Implementacja	Uwagi
1	Agregacja obszarów zabudowy	Łączenie obszarów w odległości mniejszej niż 20 m	Morfologia matematyczna, wartość parametru: 10 m, QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	Operacja zamknięcia
2	Eliminacja małych obszarów zabudowy	Eliminacja obszarów zabudowy o wymiarach mniejszych niż 30 m × 30 m	<i>Oriented Minimum Bounding Box</i> , selekcja atrybutowa, QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
3	Uproszczenie konturów zabudowy	Uproszczenie konturów zabudowy o załamaniach mniejszych niż 15 m	<i>Simplify Geometries</i> , wartość parametru: 15 m, QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	Algorytm Douglasa-Peuckera
4	Eliminacja małych enklaw	Eliminacja enklaw o wymiarach mniejszych niż 30 m × 30 m	<i>Fill holes</i> , wartość parametru: 30 m, QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–

**Tabela 3.** Kartograficzna baza wiedzy – poziom szczegółowości 1:50 000.  
Generalizacja sieci dróg niższych kategorii

Operator generalizacji		Kryterium	Implementacja	Uwagi
1	Łączenie odcinków dróg	Łączenie odcinków dróg niższych kategorii	<i>Join</i> (z klasą <i>OT_SKJZ_L</i> ), <i>Dissolve</i> , atrybuty: nazwa ulicy, klasa drogi, materiał nawierzchni), ArcGIS	Brak działającego algorytmu w QGIS
2	Wybór dróg lokalnych, dojazdowych i innych o nawierzchni twardej	Ustalenie hierarchii dróg lokalnych, dojazdowych i innych o nawierzchni twardej, eliminacja za krótkich dróg dojazdowych i innych	Selekcja atrybutowa, <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
3	Wybór dróg lokalnych, dojazdowych i innych o nawierzchni utwardzonej	Ustalenie hierarchii dróg lokalnych, dojazdowych i innych o nawierzchni utwardzonej, eliminacja za krótkich dróg dojazdowych i innych	Selekcja atrybutowa, <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
4	Wybór dróg lokalnych gruntowych	Ustalenie hierarchii dróg lokalnych gruntowych	Selekcja atrybutowa, <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
5	Wybór dróg lokalnych gruntowych	Eliminacja równoległych dróg lokalnych gruntowych, leżących zbyt blisko siebie	<i>Buffer</i> , <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	Rozmiar bufora: na terenach zabudowanych – 75 m, poza terenami zabudowanymi: 200 m, chyba że droga jest przedłużeniem innych dróg – 50 m
6	Wybór dróg lokalnych o nawierzchni utwardzonej	Eliminacja równoległych dróg lokalnych o nawierzchni utwardzonej, leżących zbyt blisko siebie	<i>Buffer</i> , <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	Rozmiar bufora: na terenach zabudowanych – 75 m, poza terenami zabudowanymi: 200 m, chyba że droga jest przedłużeniem innych dróg – 50 m
7	Wybór dróg lokalnych o nawierzchni twardej	Ustalenie hierarchii dróg lokalnych o nawierzchni twardej, których przedłużeniem jest droga gruntowa przedstawiona na mapie	<i>Touches</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
8	Wybór dróg lokalnych o nawierzchni twardej	Eliminacja równoległych dróg lokalnych o nawierzchni twardej, leżących zbyt blisko siebie	<i>Buffer</i> , <i>Intersection</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	Rozmiar bufora na obszarach zabudowanych – 75 m
9	Wybór dróg	Eliminacja dróg wszystkich kategorii, zakończonych "ślepo"	<i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–

**Tabela 4.** Kartograficzna baza wiedzy – poziom szczegółowości 1:50 000.  
Generalizacja sieci dróg wyższych kategorii

Operator generalizacji		Kryterium	Implementacja	Uwagi
1a	Wybór jezdni	Wybór jezdni, znajdujących się od siebie w odległości większej niż 100 m	<i>Buffer</i> , wartość parametru: 50 m, <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
1b	Wybór jezdni	Wybór jezdni stanowiących rozjazdy bezkolizyjnych skrzyżowań	Selekcja atrybutowa, <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	Atrybut skdr_11 = NULL
2	Eliminacja odcinków dróg	Eliminacja odcinków dróg, odpowiadających wybranym jezdniom	<i>Overlaps</i> , selekcja atrybutowa, QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–

**Tabela 5.** Kartograficzna baza wiedzy – poziom szczegółowości 1:50 000.  
Generalizacja budynków

Operator generalizacji		Kryterium	Implementacja	Uwagi
1	Eliminacja budynków	Eliminacja budynków mieszkalnych, znajdujących się na obszarach zabudowy	Selekcja atrybutowa, <i>Intersects</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
2	Uproszczenie konturów budynków	Uproszczenie konturów budynków	<i>Oriented Minimum Bounding Box</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–
3	Zmiana geometrii	Zmiana geometrii budynków z poligonów na punkty	<i>Polygon centroids</i> , QGIS, (zaimplementowana we wtyczce)	–

**Tabela 6.** Kartograficzna baza wiedzy – poziom szczegółowości 1:50 000.  
Rozwiązywanie konfliktów graficznych

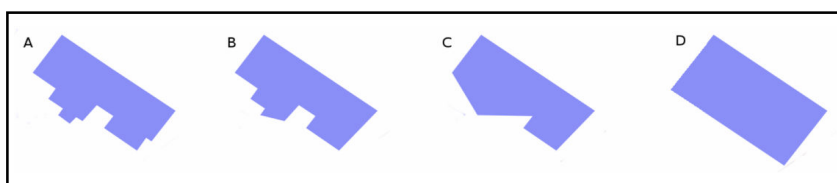
Operator generalizacji		Kryterium	Implementacja	Uwagi
1	Symbolizacja	Symbolizacja zgeneralizowanych obiektów, zgodnie z Rozporządzeniem MSWiA 2011	<i>Load Style</i> , QGIS	
2	Symbolizacja	Orientacja symboli budynków, zgodnie z ich oryginalnym położeniem	QGIS	
3	Przesunięcie / Agregacja budynków	Odległości między znakami budynków nie mniejsze niż 15 m (dopuszcza się 10 m, z wyjątkiem szklarni. Szklarnie w odległości do 15 m łączy się). Minimalna szerokość znaku budynku – 25 m	<i>Resolve Building Conflict</i> , ArcGIS	Brak odpowiedniego narzędzia w QGIS



**Rysunek 2.** Etapy generalizacji osadnictwa i sieci dróg

Generalizację osadnictwa można podzielić na cztery wzajemnie zależne etapy (rys. 2) – generalizację obszarów zabudowy, generalizację sieci dróg, generalizację budynków oraz rozwiązywanie konfliktów graficznych.

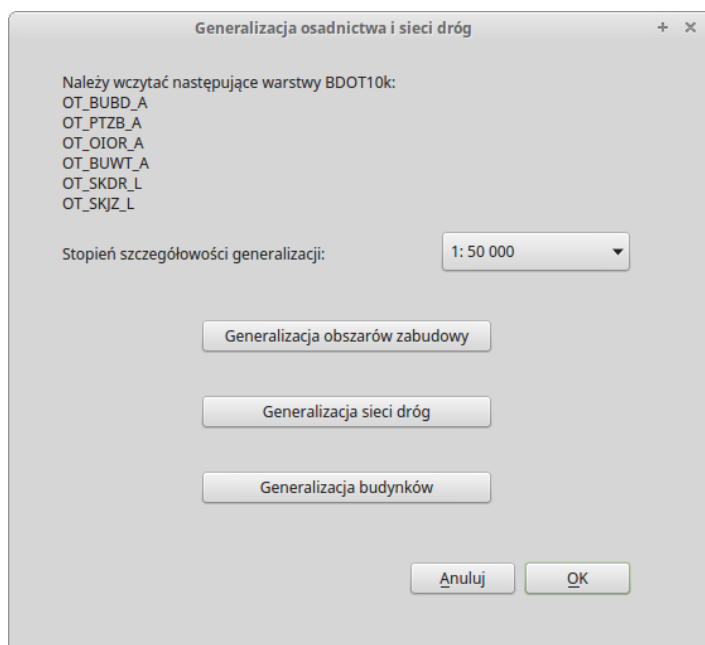
Wśród tych etapów podstawowymi operacjami są: selekcja/eliminacja atrybutowa i przestrzenna, agregacja, uproszczenie, przemieszczenie, przewiększenie, typifikacja oraz symbolizacja. W ramach prowadzonych badań do agregacji wykorzystano opisane narzędzia morfologii matematycznej, do uproszczenia konturów obszarów zabudowy – algorytm Douglasa-Peuckera. Algorytm ten nie dał jednak zadowalających efektów w procesie upraszczania kształtów budynków, dlatego też zdecydowano się na wykorzystanie w tym celu tak zwanej bryły brzegowej (rys. 3), definiowanej jako najmniejsza możliwa przestrzeń o nieskomplikowanym kształcie, otaczająca obiekt lub grupę obiektów (Ericson, 2004), tutaj: minimalny prostokąt ograniczający.



**Rysunek 3.** Przykład uproszczenia konturów budynku: A – dane źródłowe, B – algorytm DP, tolerancja 2,5 m, C – algorytm DP, tolerancja 7,5 m, D – zorientowany minimalny prostokąt ograniczający (ang. *Oriented Minimum Bounding Box*)

Implementację kartograficznej bazy wiedzy przeprowadzono w wolnym i otwartym oprogramowaniu QGIS v. 2.14 Essen na zasadach licencji GNU GPL, rozszerzając jego funkcjonalność za pomocą autorskiej wtyczki (rys. 4), opracowanej w języku programowania Python.

Operatory generalizacji, których wykonanie w sposób prawidłowy i efektywny jest utrudnione w programie QGIS, zrealizowano z wykorzystaniem środowiska firmy Esri – ArcGIS for Desktop v. 10.3.1 na licencji edukacyjnej.



**Rysunek 4.** Interfejs wtyczki do QGIS z zaimplementowaną funkcjonalnością

## Wyniki

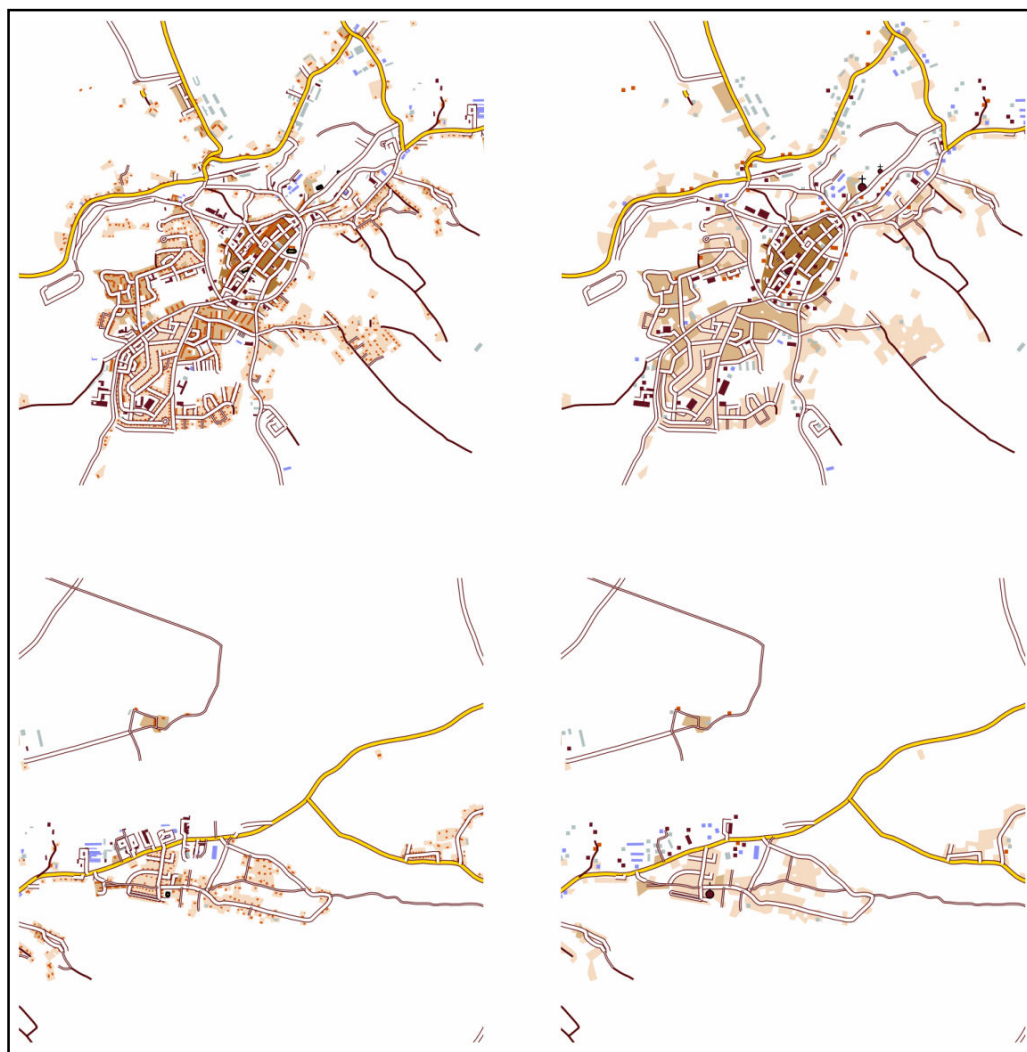
Obszarem testowym, na którym podjęto próbę generalizacji osadnictwa i sieci dróg ze stopnia szczegółowości 1:10 000 do 1:50 000 był fragment BDOT10k, obejmujący powiat złotoryjski, leżący w województwie dolnośląskim. W celu weryfikacji opracowanej metodyki oraz zaimplementowanych narzędzi generalizacji, proces przeprowadzono także na danych obejmujących powiat łowicki, leżący w województwie łódzkim. Wyniki generalizacji wybranych obszarów przedstawiono na rysunkach 5 i 6 porównując je do danych źródłowych, pomniejszonych do docelowej skali.

## Dyskusja

Analiza rezultatów generalizacji pozwoliła na dokonanie ich wizualnej oceny. Zastosowanie narzędzi morfologii matematycznej umożliwiło zachowanie oryginalnych kształtów konturów obiektów, równocześnie pozwalając na łączenie tych, które leżą w zbyt bliskiej odległości od siebie. Po zastosowaniu algorytmu Douglasa-Peuckera w rezultacie zwracane są uproszczone kontury obszarów zabudowy, zachowujące charakterystyczne cechy przestrzenne i funkcjonalne.

Wykorzystanie bryły brzegowej do generalizacji budynków nie pozwala na zachowanie ich pierwotnego kształtu, jednak poprawia czytelność mapy, eliminując złożone kontury. Rozporządzenie nie określa sposobu upraszczania budynków, więc jest to zabieg dopuszczalny, dzięki któremu na mapie wynikowej nie ma zbyt wąskich obiektów ani skomplikowanych kształtów.

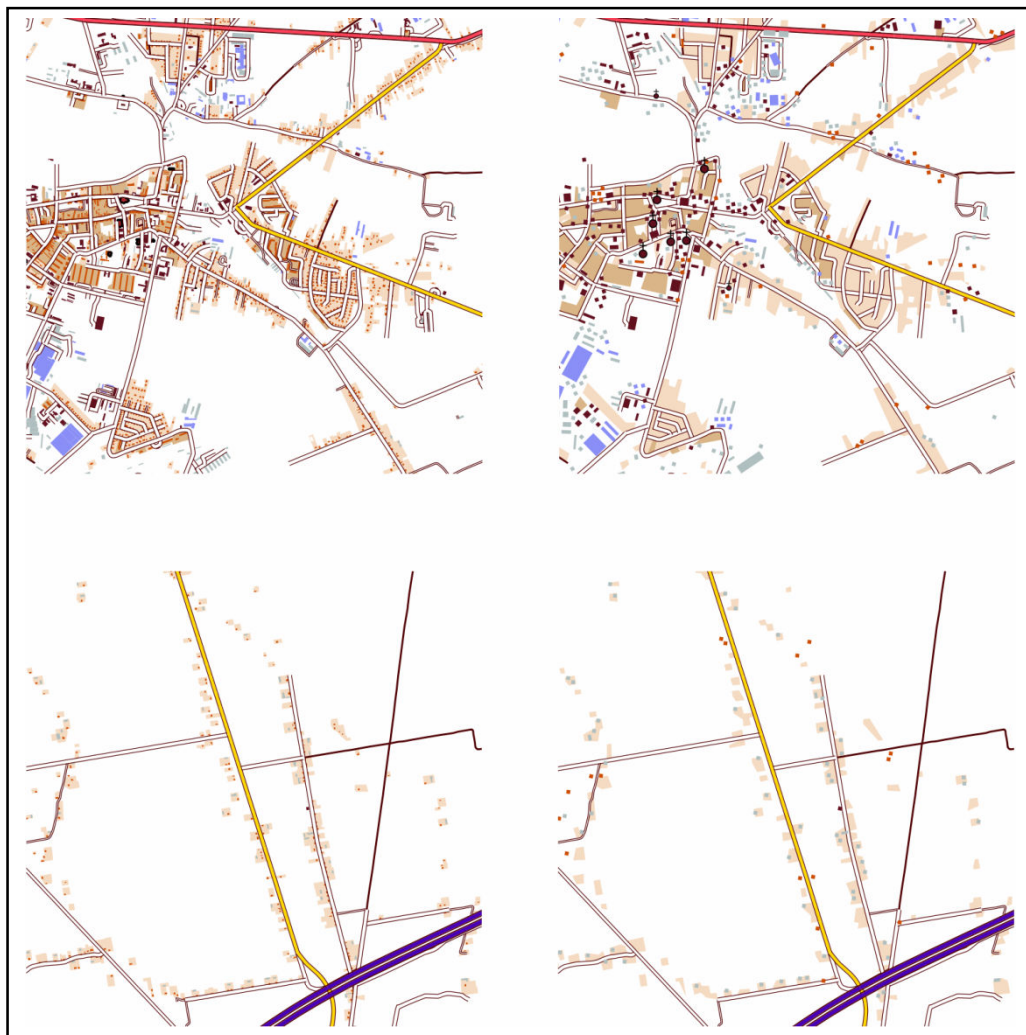




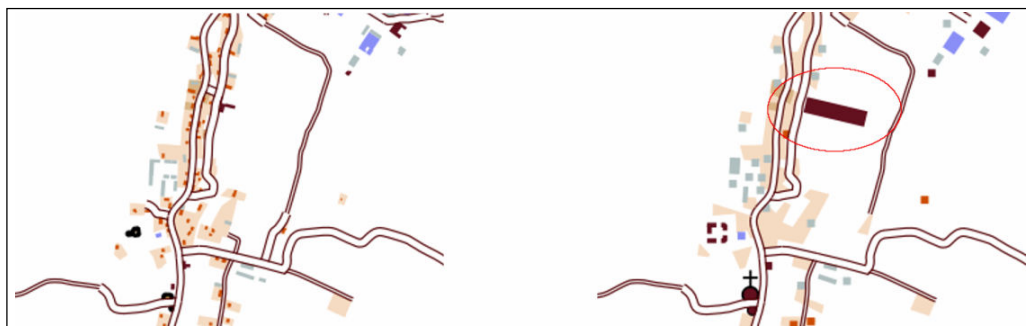
**Rysunek 5.** Fragmenty powiatu złotoryjskiego, od lewej dane źródłowe, dane zgeneralizowane; skala 1:50 000

Na zgeneralizowanych mapach niektóre obiekty są nieproporcjonalnie powiększone (rys. 7), co jest wynikiem niedopracowania narzędzia, jakie wykorzystano do rozwiązania konfliktów graficznych (Resolve Building Conflicts, ArcGIS). Rozwiązaniem tego problemu byłoby napisanie własnego algorytmu do powiększania i przesuwania obiektów z uwzględnieniem odpowiednich barier.

Ponadto, zaobserwować można nieciągłości w sieci dróg, a także drogi zakończone „ślepo”, czego przyczyną jest głównie brak przedstawienia dróg dojazdowych i innych gruntowych. Zgodnie z rozporządzeniem przedstawia się takie drogi, jeśli prowadzą do osiedli lub dróg wyższych kategorii do lasów, jezior lub innych obiektów o znaczeniu lokalnym, których definicji nie podano. Z uwagi na fakt, że wymienione obiekty nie mieszczą się w zakresie



**Rysunek 6.** Fragmenty powiatu łowickiego, od lewej dane źródłowe, dane zgeneralizowane; skala 1:50 000



**Rysunek 7.** Niepoprawnie powiększony obiekt spowodowany błędym rozwiązaniem konfliktu graficznego; skala 1:25 000

niniejszej pracy, a także w wyniku trudności z implementacją algorytmu, który wykrywałby łączniki między drogami wyższych kategorii, drogi te zostały pominięte. Trudności, o których mowa dotyczą niepoprawnie działającego narzędzia, sprawdzającego relację *touches* w programie QGIS, pozwalającą na wykrycie stykających się obiektów lub też wynikającą z błędów w topologii obiektów źródłowych. W efekcie, drogi mające wspólny wierzchołek nie zostały wykryte. Problem niepoprawnego sprawdzania relacji *touches*, utrudniający wykrycie łączników, przełożył się także na selekcję innych dróg. Rezultaty w zakresie generalizacji sieci dróg nie są zadowalające, konieczna jest interwencja manualna.

Uzyskany rezultat generalizacji poddano także ocenie ilościowej, porównując liczbę budynków w skali oraz w postaci symboli, pochodzących z danych źródłowych z liczbą budynków, uzyskanych po przeprowadzeniu procesu generalizacji (tabela 7). Zestawiono także liczbę obszarów zabudowy oraz ich powierzchnię pochodzących odpowiednio z danych źródłowych oraz zgeneralizowanych (tabela 8). Na podstawie przedstawionych zestawień można zauważyć, że zarówno liczba budynków, jak i obszarów zabudowanych, maleje po przeprowadzeniu generalizacji, przy czym największe różnice występują w przypadku budynków, przedstawianych w postaci symboli. Powierzchnia obszarów zabudowanych po generalizacji jest zbliżona (około 2% różnicy) do powierzchni obliczonej na podstawie danych źródłowych.

**Tabela 7.** Zestawienie ilościowe wyników generalizacji – porównanie liczby budynków

Nazwa powiatu	Dane źródłowe (BDOT10k)		Rezultat generalizacji (skala 1 : 50 000)	
	liczba w skali [szt budynków]	liczba symboli budynków [szt]	liczba budynków w skali [szt]	liczba symboli budynków [szt]
złotoryjski	596	8530	445	1977
łowicki	1467	27587	1316	7876

**Tabela 8.** Zestawienie ilościowe wyników generalizacji – porównanie liczby i powierzchni obszarów zabudowanych

Nazwa powiatu	Dane źródłowe (BDOT10k)		Rezultat generalizacji (skala 1 : 50 000)	
	liczba obszarów zabudowanych [szt]	powierzchnia obszarów zabudowanych [ha]	liczba obszarów zabudowanych [szt]	powierzchnia obszarów zabudowanych [ha]
złotoryjski	2754	1089	1414	1067
łowicki	5910	3767	3494	3777

## Podsumowanie i wnioski

Celem niniejszej pracy była próba formalizacji zasad generalizacji na podstawie wytycznych z rozporządzenia dotyczące reprezentacji obiektów w skali 1:50 000 oraz ich implementacja w środowisku GIS. Do generalizacji wykorzystano narzędzia morfologii matematycznej – dylatację i erozję, a także inne dodatkowe narzędzia, między innymi algorytm Douglasa-Peuckera do uproszczenia konturów zabudowy.

W trakcie implementacji zasad, opracowanych w formie kartograficznej bazy wiedzy, napotkano na problemy wynikające zarówno ze struktury bazy danych obiektów topogra-

ficznych, niejasności zapisów rozporządzenia, jak i braku poprawnie działających narzędzi w programie QGIS.

Baza danych obiektów topograficznych (BDOT10k) zawiera błędy, co do wartości poszczególnych atrybutów, czego przykładem jest autostrada, wprowadzona jako linia umowna, co w efekcie oznacza, że nie powinna być przedstawiana na mapie. Ponadto niektóre atrybuty nie są elementarne, co jest sprzeczne z pierwszą postacią normalną relacji baz danych i znacznie utrudnia wykonanie niektórych czynności, takich jak połączenie tabeli dróg z tabelą jezdni.

W załączniku do rozporządzenia, opisującym standardy techniczne tworzenia opracowań kartograficznych w skali 1:50 000, istnieje wiele niejasności, co pozostawia szerokie pole do interpretacji, a w rezultacie nie gwarantuje powtarzalności wyniku generalizacji. Przykładem jest brak sprecyzowanych działań w stosunku do obszarów zabudowy, znajdujących się zbyt blisko siebie – brak informacji bądź obiekty takie należy usuwać, rozsuwać lub łączyć. Wytyczne dotyczące eliminacji dróg twardych, utwardzonych i gruntowych są niedokładne, nie definiują, które obiekty pozostają w stosunku do siebie w hierarchii, a które należy traktować równoważnie. Nie sprecyzowano także warunków minimalnych odległości między drogami różnych kategorii, w efekcie czego na mapie pozostają drogi położone bardzo blisko siebie. Z tego punktu widzenia należałoby także rozważyć uproszczenie zasad generalizacji, stosowane zresztą w innych agencjach kartograficznych (Revell, 2011; Stoter i in. 2014), Takie rozwiązanie umożliwiłoby bardziej efektywną formalizację zasad generalizacji, a w kolejnym kroku może nawet ich standaryzację na poziomie ogólnoeuropejskim.

Problemem przy implementacji okazały się także niedopracowane narzędzia w programie QGIS, mające zbyt mało dodatkowych opcji, niezbędnych w procesie generalizacji. Przykładem jest brak możliwości połączenia odcinków dróg na podstawie więcej niż jednego atrybutu, przy czym zauważyć należy, że nawet połączenie z uwzględnieniem tylko jednego atrybutu wykonywane jest niepoprawnie – łączone są obiekty, które nie stykają się. Ponadto zauważono błędy w działaniu algorytmu *touches* – obiekty stykające się ze sobą nie są wykrywane (co może również wynikać z niepoprawnej topologii obiektów źródłowych), a także brak narzędzia do rozwiązywania konfliktów graficznych.

Początkowo założeniem prezentowanych badań była implementacja sekwencji algorytmów, które umożliwiłyby wykonanie generalizacji całkowicie automatycznie, bez ingerencji kartografa. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów generalizacji można jednak stwierdzić, że zautomatyzowanie generalizacji, z wykorzystaniem narzędzi jakie oferuje program QGIS jest czasochłonne, kosztowne i nieefektywne. Nie budzi wątpliwości, że stosowanie systemów informacji geograficznej w procesie generalizacji wymaga formalizacji wiedzy kartograficznej, w postaci sekwencji określonych operatorów generalizacji, które redukują subiektywizm całego procesu do minimum. Jednakże, znacznie bardziej opłacalnym podejściem, niż całkowita automatyzacja procesu, jest próba generalizacji w trybie półautomatycznym, w którym kartograf ma możliwość kontroli każdego etapu procesu i w razie potrzeby – manualnej interwencji w rezultat generalizacji.

## Literatura

- Chrobak T., Keller S.F., Koziół K., Szostak M., Żukowska M., 2007: Podstawy cyfrowej generalizacji kartograficznej. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.
- Galanda M., 2001: Optimization techniques for polygon generalization. Fourth ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization: 1-15.
- 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* 10(2): 112-122.
- Ericson C., 2004: Real-time collision detection. Boca Raton. CRC Press.
- Iwaniak A., Paluszyński W., Żyszkowska W., 1998: Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia. Cz. 1. *Polski Przegląd Kartograficzny* 30(2): 79-88.
- Karsznia I., 2010: Podstawy metodyczne automatyzacji generalizacji wybranych elementów Bazy Danych Ogólnogeograficznych. Praca doktorska. Uniwersytet Warszawski.
- Karsznia I., Ostrowski W., 2011: Możliwości wykorzystania morfologii matematycznej w procesie generalizacji zabudowy. [W:] Żyszkowska W., Spallek W. (red.), Główne problemy współczesnej kartografii. Zastosowanie statystyki w GIS i Kartografii, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław: 73-82.
- Kupidura P., Koza P., Marciniak J., 2010: Morfologia matematyczna w teledetekcji. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Revell P., Regnauld N., Bulbrooke G., 2011: OS Vector Map TM District: Automated generalisation, text placement and conflation in support of making public data public. Materiały konferencyjne XXV Międzynarodowej Konferencji Kartograficznej, Paryż. [http://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/D3-Generalisation/CO-358.pdf](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/D3-Generalisation/CO-358.pdf)
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych. Dz.U. 2011 nr 279 poz. 1642.
- Steiniger S., 2007: Enabling pattern-aware automated map Generalization. Praca doktorska. Eidgenossische Technische Hochschule, Zürich.
- Stoter J., Post M., van Altena V., Nijhuis R., Bruns B., 2014: Fully automated generalization of a 1:50k map from 1:10k data. *Cartography and Geographic Information Science* 41(1): 1-13.
- Szaflarski J., 1965: Zarys kartografii. Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa.
- Tadeusiewicz R., Korohoda P., 1997: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków.

## Streszczenie

*Celem pracy jest próba formalizacji i implementacji zasad generalizacji osadnictwa oraz sieci dróg bazy danych obiektów topograficznych w skali 1:10 000 do skali 1:50 000 zgodnie z obowiązującymi przepisami. Implementację opracowanej kartograficznej bazy wiedzy przeprowadzono w środowisku QGIS, rozszerzając jego funkcjonalność poprzez autorską wtyczkę, w której zaimplementowano narzędzia morfologii matematycznej oraz zmodyfikowano do bieżących potrzeb inne istniejące narzędzia. Do wybranych czynności wykorzystano również środowisko ArcGIS firmy Esri. Proponowany sposób implementacji zasad generalizacji zakłada półautomatyczny tryb pracy, w celu umożliwienia kartografowi stałej kontroli nad przebiegiem procesu. Na podstawie przeprowadzonych prób generalizacji można stwierdzić, że implementacja opracowanych zasad w programie QGIS nie jest w pełni możliwa. Ponadto automatyzacja tego procesu jest bardzo czasochłonna i nie daje wystarczająco dobrych efektów. Konieczna jest manualna interwencja kartografa. Uzyskane rezultaty generalizacji są jednak w znacznym stopniu zadowolające.*

***Abstract***

*The goal of this paper was an attempt to formalize and implement the principles of settlements and a road network generalization from a 1:10 000 source map to 1:50 000 scale, in accordance with appropriate legal regulations. Implementation of the cartographic knowledge base was carried out with QGIS by expanding its functionality through a plug-in which implements mathematical morphology operations and some existing generalization algorithms with further modifications. For several operations Esri ArcGIS software was also used. The proposed methodology of implementing the generalisation principles assumes a semi-automatic mode, in order to enable the cartographer to control the entire process. Based on the reported attempts, it can be concluded that the automation of required cartographic rules in QGIS software is not fully possible. Furthermore, the automation of generalisation process is very time-consuming and inefficient. Thus, manual intervention is still necessary. However, the obtained results of map generalisation are in most cases acceptable.*

dr inż. Izabela Karsznia  
i.karsznia@uw.edu.pl

mgr inż. Marta Leszczuk  
leszczuk.marta@gmail.com