

**AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**



**WYDZIAŁ GEODEZJI GÓRNICZEJ I INŻYNIERII ŚRODOWISKA
ZAKŁAD GEODEZJI I KARTOGRAFII**

ROZPRAWA DOKTORSKA

MARTA SZOSTAK

**ORGANIZACJA STRUKTURY BAZY DANYCH
TOPOGRAFICZNYCH DO AUTOMATYCZNEJ
GENERALIZACJI KARTOGRAFICZNEJ**

PROMOTOR:

DR HAB. INŻ. TADEUSZ CHROBAK, PROF. N. AGH

KRAKÓW, 2007

Wyrazy podziękowania składam mojemu promotorowi
Profesorowi dr hab. inż. Tadeuszowi Chrobakowi za opiekę
i wszelką pomoc udzieloną mi w trakcie przygotowywania
niniejszej rozprawy.

Za wsparcie pragnę podziękować mojej najbliższej rodzinie.

Spis treści:

1. Sformułowanie problemu	5
2. Generalizacja kartograficzna.....	8
2.1. Pojęcie generalizacji.....	8
2.2. Od generalizacji manualnej do komputerowej.....	9
2.3. Automatyczna generalizacja kartograficzna	11
2.3.1. Faza rozwoju algorytmów upraszczania obiektów liniowych	11
2.3.2. Całościowe podejście w generalizacji – modele generalizacji	20
3. Modelowanie danych	26
3.1. Modelowanie danych geograficznych.....	28
3.1.1. Definicje pojęć	28
3.1.2. Poziomy informacji w modelowaniu danych geograficznych	33
3.1.3. Charakterystyka procesu modelowania danych geograficznych	35
3.2. Modelowanie danych dla potrzeb generalizacji kartograficznej.....	40
4. Baza Danych Topograficznych	44
4.1. Informacje wstępne	44
4.2. Wektorowa baza danych topograficznych – ogólne założenia dla modelu pojęciowego	48
4.3. Kierunek rozwoju Bazy Danych Topograficznych – baza danych wielorozdzielczych (MRDB).....	52
4.3.1. Koncepcje opracowania bazy danych topograficznych jako bazy typu MRDB	54
5. Trójwarstwowa architektura systemu zarządzania Bazą Danych Topograficznych umożliwiające generowanie map w dowolnej skali.....	58
5.1. System zarządzania bazą danych topograficznych	59
5.2. Ogólne warunki dla struktury bazy danych topograficznych	60
5.2.1. Klasyfikacja obiektów i hierarchia klas	60
5.2.2. Hierarchia klasyfikacji i łączenia	62
5.2.3. Formalna struktura danych Molenaara.....	65
5.3. Serwer aplikacji.....	67
5.3.1. Eliminacja i upraszczanie obiektów liniowych i powierzchniowych	68
5.3.2. Ustalenie sposobu wizualizacji obiektów TBD	72

5.3.3. Tworzenie, klasyfikacja i eliminacja regionów drogowych	75
5.3.4. Scalanie obiektów	79
6. Proces generalizacji oraz warunki szczegółowe dla struktury Bazy Danych Topograficznych dla wybranych superklas obiektów.....	86
6.1. Sieci cieków	87
6.1.1. Hierarchia cieków	91
6.1.2. Proces generalizacji.....	98
6.2. Budowle i urządzenia.....	103
6.2.1. Budynki	105
6.3. Kompleksy pokrycia terenu	117
6.3.1. Proces generalizacji.....	119
7. Ocena przeprowadzonego procesu generalizacji	126
8. Podsumowanie i wnioski.....	135
Literatura.....	137
Spis rysunków.....	142
Spis tabel	145

1. Sformułowanie problemu

W ostatnich latach w Polsce w ramach budowy infrastruktury danych przestrzennych opracowane zostały bazy danych przestrzennych pokrywające znaczne obszary kraju. Zgromadzone dane mogą służyć jako bazy georeferencyjne dla opracowań tematycznych. Istotne także jest, aby bazy danych georeferencyjnych współpracowały ze sobą w możliwie szerokim zakresie. Do tego typu baz danych należą:

- Baza Danych Ogólnogeograficznych (BDO) - odpowiadająca dokładnością i szczegółowością mapie w skali 1:250 000 (zlecona przez GUGiK);
- Wojskowe mapy wektorowe VMapL0, VMapL1, VMapL2, VMapL3, SMW - budowane zgodnie ze standardami NATO i odpowiadające dokładnością i szczegółowością odpowiednio mapom w skalach 1:1000000, 1:250000, 1:50000, 1:25000, 1:10000 (realizowane przez Zarząd Geografii Wojskowej w standardach NATO, w porozumieniu z GUGiK);
- Baza Danych Topograficznych (TBD) - odpowiadająca w przybliżeniu dokładnością i zakresem treści cywilnej mapie topograficznej w skali 1:10000 (zlecana przez GUGiK oraz Urzędy Marszałkowskie).

W chwili obecnej są to jednak oddzielne, niepowiązane ze sobą bazy, opracowane:

- dla różnych poziomów dokładności i szczegółowości na podstawie różnych źródeł danych,
- do odmiennych zastosowań w różnych uwarunkowaniach organizacyjno-technologicznych.

Zarówno służba geodezyjno-kartograficzna cywilna, jak i wojskowa jest obecnie na etapie definiowania infrastruktury danych przestrzennych w Polsce. W tym kontekście należy spojrzeć na wszystkie wymienione bazy jako na zasoby georeferencyjne, które powinny ulec integracji w możliwie szerokim zakresie. Celowe wydaje się zwłaszcza ujednolicenie prac w zakresie tworzenia Bazy Danych Topograficznych i VMapL2. Przyjęcie takiego rozwiązania oznaczałoby nie tylko przyspieszenie opracowania obu produktów oraz uniknięcie podwójnego gromadzenia danych i podwójnych kosztów, ale także otwierałoby nowe możliwości w zakresie wykorzystania zgromadzonych danych. Byłoby to, także zgodne z najnowszymi światowymi trendami w budowaniu tzw.

wielorozdzielczych/wieloreprezentacyjnych baz danych przestrzennych (ang. MRDB – Multiresolution/Multirepresentation Data Base).

Dotychczasowa koncepcja Bazy Danych Topograficznych zakłada opracowanie bazy danych o stopniu szczegółowości odpowiadającym mapom topograficznym w skali 1:10000. Model pojęciowy TBD został skonstruowany tak, aby umożliwiać integrację danych właściwych różnym poziomom uogólnienia, łatwą rozbudowę bazy podstawowej do baz tematycznych oraz możliwość łatwego przedstawienia szczegółów terenowych na różnych poziomach uogólnienia oraz możliwość wygenerowania mapy topograficznej w skali 1:10000 i docelowo 1:50000.

W związku z powyższym autorka w pracy proponuje zmodyfikowanie organizacji struktury Bazy Danych Topograficznych (TBD) tak, aby możliwe było przeprowadzenie w sposób automatyczny wybranych procesów generalizacji kartograficznej dla wizualizacji treści map topograficznych w dowolnej skali. W tym celu stawia następującą tezę pracy:

TEZA:

Generowanie map topograficznych o dowolnej skali w sposób automatyczny, wymaga utworzenia jednej bazy danych przestrzennych, która korzysta z serwera aplikacji, posiadającego algorytmy do upraszczania i eliminacji obiektów.

W pracy można wyróżnić trzy cele:

- naukowo-technologiczny,
- praktyczny,
- ekonomiczny.

Cel naukowo-technologiczny to utworzenie trójwarstwowej architektury systemu zarządzania Bazą Danych Topograficznych, umożliwiającego generowanie map topograficznych w dowolnej skali. Dla Bazy Danych Topograficznych, będącej jednym z modułów tego systemu, zostaje zmodyfikowana jej struktura tak, aby umożliwiała korzystanie z serwera aplikacji, który wykorzystuje obiektywne algorytmy upraszczania i eliminacji obiektów.

Celem praktycznym jest zaimplementowanie zaproponowanych algorytmów z serwera aplikacji i dokonanie wybranych procesów generalizacji dla danych

zgromadzonych w Bazie Danych Topograficznych o zmodyfikowanej strukturze. Dla wybranego obszaru testowego zostają porównane i ocenione uzyskane wyniki przeprowadzonego procesu dla skali mapy 1:50000 z obrazem danych zawartych w bazie VMapL2.

Cel ekonomiczny to zwrócenie uwagi, na możliwość integracji zadań w zakresie tworzenia baz danych georeferencyjnych, co pozwoliłoby na uniknięcie kosztów wielokrotnego gromadzenia i przechowywania tych samych danych.

2. Generalizacja kartograficzna

Generalizacja kartograficzna¹ jest jednym z głównych etapów procesu tworzenia map i od początku rozwoju teorii kartografii stanowi jedno z ważniejszych i trudniejszych zagadnień, przez co E. Sydow (1866) uznał ją jako jedną z trzech „raf” w kartografii. W literaturze kartograficznej można znaleźć zasady generalizacji, nie istnieje jednak zbiór uniwersalnych reguł, które pozwalałyby na precyzyjne zdefiniowanie sposobu jej wykonywania. Przeciwnie generalizacja jest tym procesem w kartografii, które charakteryzuje się dużą indywidualnością rozwiązań zależnych od redaktora. W związku z tym określenie obiektywnych zasad jej przeprowadzania należy zaliczyć do najważniejszych potrzeb współczesnej kartografii. Sformułowaniem ogólnych reguł generalizacji oraz określeniem sposobu przeprowadzania poszczególnych czynności wchodzących w jej zakres, zajmują się kolejne pokolenia kartografów, jednak nadal w głównej mierze sprawdza się tylko jedna zasada - „przy minimum środków maksimum efektów”. Wynika z niej najważniejszy cel przeprowadzania generalizacji tj. dokonanie takiego wyboru i redukcji informacji pochodzących z danych lub z map źródłowych - aby uzyskać mapę wynikową, która będzie obrazować podstawowe cechy elementów geograficznych i relacje między nimi oraz zapewniać odpowiednią czytelność jej treści.

2.1. Pojęcie generalizacji

Termin generalizacja pochodzi od łacińskiego słowa „generalis”, oznaczającego uogólnienie. Istotą generalizacji kartograficznej jest „wybór rzeczy najważniejszych i istotnych oraz ich celowe uogólnienie” (Saliszczew, 1998). To wybór elementów powinien mieć na względzie prezentację na mapie fragmentu przestrzeni geograficznej z uwypukleniem jej zasadniczych, typowych cech i charakterystycznych właściwości stosownie do przeznaczenia, skali i bogactwa

¹ Generalizacja kartograficzna - proces wyboru (zależny od: przeznaczenia mapy, ilości i jakości danych) zbioru danych przestrzennych i jego przekształcenia (uwzględniającego: klasyfikację danych, ich upraszczanie i implikowania) w celu podniesienia przekazu kartograficznego utraconego na skutek zmniejszenia skali mapy (Chrobak, 2006)

treści oraz danych źródłowych. Generalizacja jest jednym z głównych procesów związanych z tworzeniem przedstawień kartograficznych w różnych skalach i o różnym przeznaczeniu. Jest ona niezbędna w prezentacji treści, gdy jej przedstawienie przekracza wymiary arkusza mapy. Jest to proces przekształcania świata rzeczywistego w obraz na mapie, uważany za kartograficzną konceptualizację i wizualizację rzeczywistości. Proces ten jest bardzo wszechstronny - dotyczący elementów graficznych: punktowych, liniowych i powierzchniowych, jak również zjawisk stanowiących treść mapy. Generalizacja znana jest również jako abstrakcja kartograficzna, gdyż fizyczna rzeczywistość świata ujmowana na mapie jest w sposób symboliczny. W sensie artystycznym abstrakcja rzeczywistości jest jak karykatura, w której pewne elementy są uwypuklane kosztem innych w celu przedstawienia określonego aspektu środowiska geograficznego (Muehrcke, 1986). Celem generalizacji jest doprowadzenie mapy do takiego stanu, aby wyrażała podstawowe cechy geograficzne elementów i relacje między nimi, a zarazem jej treść była dobrze dostrzegalna i czytelna. Efekt ten uzyskuje się przez stosowanie trzech zasadniczych procesów: wyboru, upraszczania elementów oraz uogólniania pojęć odnoszących się do tych elementów.

2.2. Od generalizacji manualnej do komputerowej

W tradycyjnej kartografii generalizacja opiera się na wiedzy geograficznej kartografa i jego wyczuciu graficzno-estetycznym. Subiektywny charakter tego procesu sprawia, iż nie jest łatwe ustalenie jego jednoznacznych definicji logicznych i matematycznych a co za tym idzie zastosowanie generalizacji w systemach komputerowych. Próby określenia ogólnych zasad generalizacji treści mapy podejmowano już przed II wojną światową i w latach 50-tych ubiegłego stulecia, na długo przed pojawieniem się komputerów. Miały one na celu umożliwienie ujednolicenia sposobów generalizacji i porównywania opracowań kartograficznych, toteż większość z nich dotyczyła ilościowych aspektów generalizacji, które można ująć w formie matematycznych reguł. W związku z rozwojem technik komputerowych służących do opracowywania map oraz systemów informacji geograficznej, których integralną częścią są mapy w różnych skalach, pojawiły się nowe wyzwania dla kartografów tj. potrzeba opracowania innego podejścia do procesu generalizacji, w kontekście technologii komputerowej i związanymi z nią

możliwościami zapisu i przetwarzania informacji kartograficznej. Początkowo wraz z rozwojem automatycznej generalizacji ograniczenia dotyczące przechowywania danych i warunki ich przetwarzania stanowiły czynnik rozwoju technik redukcji liczby punktów opisujących kształt linii łamanej. Równie ważnym powodem było zachowanie graficznej percepcji przy redukcji skali mapy. Z początkowych źródeł redukcji par współrzędnych rozwinęła się generalizacja oparta na innych działaniach takich, jak selekcja, łączenie, przemieszczenie i symbolizacja. Działania te odnoszą się zarówno do treści tematycznej, jak i geometrycznej obiektów. Na przykład selekcja i łączenie koncentrują się na kompozycjach tematycznych natomiast uproszczenie i przemieszczenie dotyczą przedstawień graficznych i ogniskują się w większości przypadków na podniesieniu percepcji treści mapy.

Współczesne prace nad automatyzacją procesu generalizacji kartograficznej toczą się w dwóch kierunkach. W pierwszym z nich są kontynuowane próby imitowania tradycyjnych koncepcji generalizacji, dotyczących poszczególnych elementów treści mapy, natomiast w drugim podejmowane są starania całościowego ujmowania generalizacji, a więc rozwijania nowych modeli dla tego procesu. Większość dotychczasowych badań związana była z pierwszym nurtem i skupiała się na geometrycznych aspektach generalizacji oddzielnych elementów treści mapy - głównie linii i punktów, które podlegają procesom wyboru i uproszczenia, a więc generalizacji ilościowej. Natomiast generalizacja jakościowa, odnosząca się do treści tematycznej, polegająca na uogólnianiu informacji kartograficznej, to znaczy na przechodzeniu od kategorii niższego do wyższego rzędu, pojawiła się w rozważaniach nad automatyzacją generalizacji w związku z systemami informacji geograficznej, które zawierają bazę danych i dysponują narzędziami do grupowania informacji tematycznej.

Podsumowując przejście od generalizacji manualnej do cyfrowej należy zwrócić uwagę na radykalne zmiany w rozwiązaniach dotyczących procesu generalizacji. W technologii ręcznej procesy selekcji, uproszczenia, klasyfikacji czy symbolizacji dokonywane były łącznie. W środowisku komputerowym natomiast każda czynność musi być wykonywana oddzielnie. Wyodrębnienie poszczególnych procesów w technologii komputerowej spowodowało, że otrzymanie tych samych rezultatów przy generalizacji cyfrowej okazało się bardziej problematyczne, niż przy

generalizacji tradycyjnej. To, co było relatywnie proste w środowisku konwencjonalnym stało się bardzo złożone w środowisku cyfrowym.

2.3. Automatyczna generalizacja kartograficzna

W ciągu trwającej już kilkadziesiąt lat działalności w dziedzinie generalizacji cyfrowej zaproponowano wiele rozwiązań i osiągnięto zadowalające rezultaty w zakresie poszczególnych czynności związanych z ilościowym aspektem generalizacji (Weibel 1995), pomimo że nadal nie są określone obiektywne prawa i reguły rządzące doбором elementów treści map i nadal poszukuje się metod ich definiowania w formie algorytmów. Początki rozwoju generalizacji komputerowej sięgają połowy lat 60-tych ubiegłego stulecia (Tobler, 1966) i rozwój ten możemy podzielić na trzy etapy badań. W pierwszym okresie rozpoczętym w latach 60-tych ubiegłego stulecia większość badań i rozwiązań dotyczyła generalizacji obiektów liniowych. Znaczący wysiłek został położony na opracowanie wydajnych technik pozwalających na redukcję par współrzędnych w obiektach liniowych. Opisy kilkunastu z nich są dostępne w literaturze (Zycor 1984, McMaster 1987, Muller 1987). Drugi etap badań to testowanie otrzymanych wcześniej rozwiązań do uproszczeń obiektów liniowych, polegające w szczególności na ocenie ich wydajności przy eliminacji par współrzędnych. W literaturze dostępnych jest kilka studiów opisujących wybrane algorytmy (White 1985, McMaster 1986, Muller 1987, Vanzella 1988). Trzeci okres rozpoczęty pod koniec lat 70-tych ubiegłego stulecia i trwający do dziś to poszukiwania całościowych podejść w generalizacji w wyniku, czego zaproponowano kilka modeli, przy czym wiele z nich jest przeznaczonych do rozwiązywania kilku zadań w zakresie generalizacji.

2.3.1. Faza rozwoju algorytmów upraszczania obiektów liniowych

W fazie rozwoju algorytmów upraszczania obiektów liniowych można wyróżnić pięć kategorii procesów (McMaster, 1987):

- niezależne algorytmy punktowe,
- procedury przetwarzania lokalnego,
- procedury warunkowego rozszerzonego przetwarzania lokalnego,

- procedury bezwarunkowego rozszerzonego przetwarzania lokalnego,
- procedury globalne.

2.3.1.1 Niezależne algorytmy punktowe

Jest to grupa algorytmów, w których nie są brane pod uwagę relacje geometryczne pomiędzy sąsiadującymi punktami i działają te algorytmy niezależnie od topologii. Jako przykłady można podać n-tą procedurę punktową Toblera (1966) oraz przypadkowy wybór punktów Robinsona (1988).

Algorytm Toblera to jeden z pierwszych operatorów upraszczania w generalizacji, działający w oparciu o założenie, że co n-ty punkt linii łamanej zostaje usunięty. W procedurze tej punkty nie są eliminowane w zależności od kształtu linii łamanej, tylko w oparciu o przyjętą przez użytkownika regułę, że np. co piąty punkt z linii łamanej podlega odrzuceniu. Algorytmy te nie są obecnie stosowane w generalizacji właśnie ze względu na to, że nie uwzględniają charakteru linii łamanej tylko ich proces przebiegu zależy od założenia przez redaktora, co które punkty linii łamanej mają zostać wyeliminowane. Zdaniem R.B.McMastera ta forma niezależnego algorytmu punktowego nie była możliwą drogą uzyskiwania wyników o wysokiej jakości. Wyróżnienie tego algorytmu ma charakter historyczny, gdyż algorytm ten jest uważany za początek cyfrowej generalizacji kartograficznej.

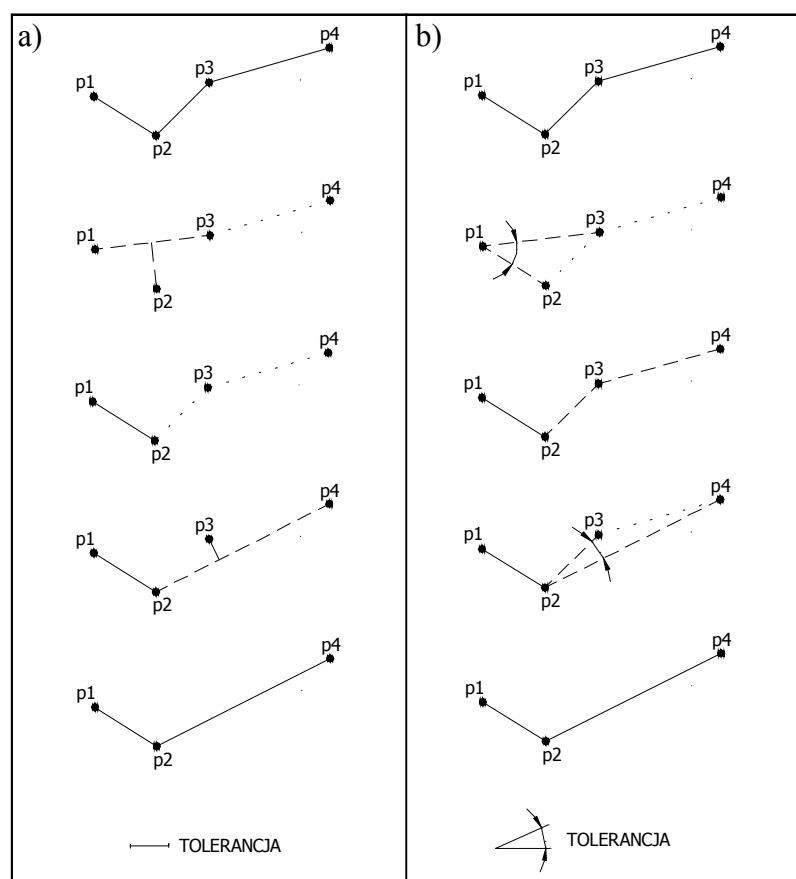
2.3.1.2 Procedury przetwarzania lokalnego

Są to procedury, które do określonego wyboru lub odrzucenia punktów z linii łamanej używają właściwości bezpośrednio sąsiadujących ze sobą punktów. Na tej zasadzie oparte są min. dwa algorytmy Jenksa (1981): algorytm odległości prostopadłej (Rys.1a) i algorytm kątowy (Rys.1b). Działają one w oparciu o trzy punkty linii łamanej i zdefiniowaną przez użytkownika tolerancję odległościową lub kątową.

Algorytm odległości prostopadłej definiuje po pierwsze linię prostą łączącą pierwszy (p1) i trzeci (p3) punkt linii łamanej, a następnie linię prostopadłą do niej, przechodzącą przez punkt pośredni (p2). Jeżeli odległość od linii p1-p3 do punktu p2 jest większa niż zdefiniowana przez redaktora tolerancja odległościowa to punkt pośredni zostaje zachowany, a jeżeli mniejsza to następuje eliminacja tego punktu

z linii łamanej. Następnie algorytm sprawdza w analogiczny sposób kolejne trzy punkty.

W algorytmie kątowym dochodzi do pomiaru kąta pomiędzy połączonymi wektorami p1-p2 oraz p1-p3. Jeżeli jest on większy od zadanej tolerancji kątowej to punkt pośredni pozostaje, a jeżeli mniejszy to zostaje odrzucony.



Rys. 1. Algorytm Jenksa: a) odległości prostopadłej, b) kątowy

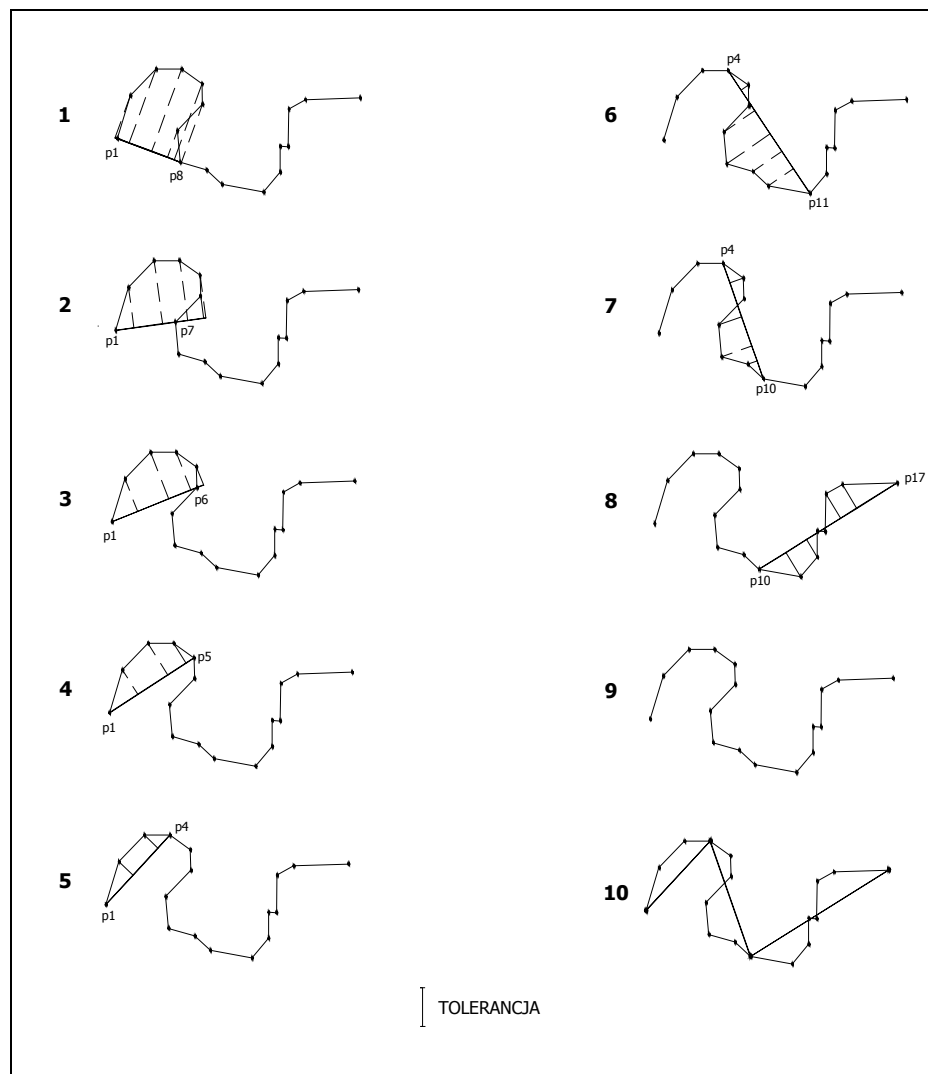
Na podstawie przedstawionego sposobu działania algorytmów Jenksa można przedstawić ogólną cechę procedur przetwarzania lokalnego - nie uwzględniają one całościowego charakteru i skomplikowania linii łamanej, lecz tylko zależności sąsiadujących punktów w łamanej. Wynik upraszczania łamanej zależy od przyjętego przez redaktora warunku, w omawianym przykładzie: odległości prostopadłej lub kąta.

2.3.1.3 Procedury warunkowego rozszerzonego przetwarzania lokalnego

Procedury tego typu na wstępie identyfikują segment linii łamanej, a następnie go upraszczają. Badają nie tylko bezpośrednio sąsiadujące punkty, ale pewien fragment lini. Obszar badań zależy od odległości, kąta lub liczby punktów. Wśród tych procedur najbardziej znaczące są algorytmy Langa (1969) i Opheima (1981,1982).

Algorytm Langa (Rys. 2) wymaga zdefiniowania przez użytkownika dwóch wartości:

- liczby punktów „na przód”, które będą badane (n),
- tolerancji odległości.



Rys. 2. Algorytm Langa

Działanie algorytmu rozpoczyna się od połączenia punktu początkowego (p_1) i punktu końcowego segmentu linii łamanej ($p_{(1+n)}$). W przedstawionym na rysunku 2 przykładzie $n = 7$, więc następuje utworzenie wektora p_1-p_8 , a następnie obliczenie odległości od tego wektora do wszystkich punktów pośrednich. Jeżeli którakolwiek z tych odległości jest większa od zakładanej tolerancji odległościowej to wektor cofa się do punktu poprzedniego i powtarza proces badania odległości. Tak się dzieje, aż żadna z odległości do punktów pośrednich nie będzie większa od tolerancji. Taka sytuacja następuje dla wektora p_1-p_4 , więc punkty pośrednie zostają usunięte, a punkt p_4 staje się początkiem nowego segmentu linii łamanej, od którego procedura działania algorytmu zaczyna się od nowa.

Algorytm Opheima, natomiast opiera się na zastosowaniu koła o średnicy x w obszarze poszukiwań. Jeśli linia łamana znajduje się poza tym obszarem tworzony jest nowy obszar z zachowaniem punktu końcowego.

2.3.1.4 Procedury bezwarunkowego rozszerzonego przetwarzania lokalnego

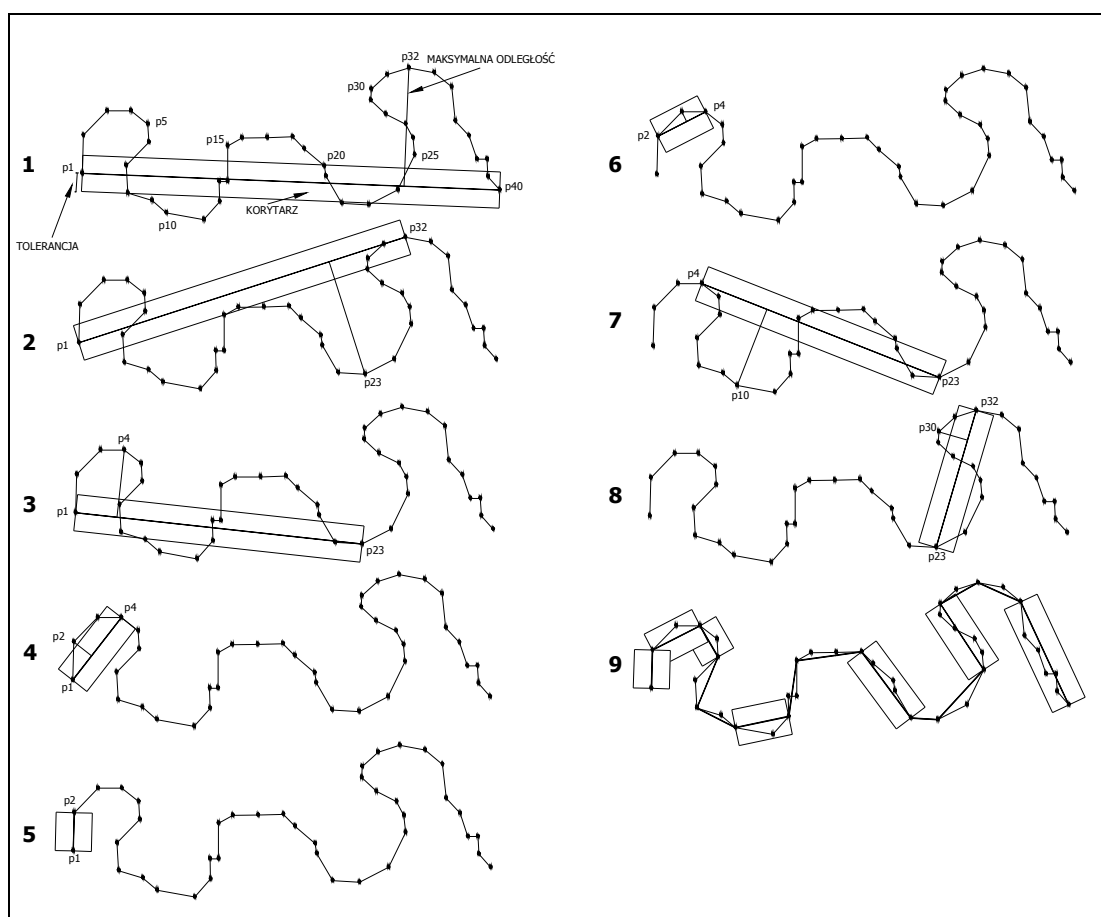
Algorytmy te wyszukują raczej segmenty linii łamanej niż pojedyncze pary współrzędnych, przy czym zakres wyszukiwania zależy od poziomu skomplikowania linii łamanej i gęstości współrzędnych. Opracowano kilka rodzajów tego typu rozwiązań, z których na największą uwagę zasługuje algorytm Reumanna – Witkama (1974). W tym algorytmie obszar poszukiwań jest determinowany przez dwie proste równoległe o zadanym przez użytkownika odstępzie. Linia łamana jest przetwarzana dotąd, aż nie przetnie którejs z prostych równoległych.

2.3.1.5 Procedury globalne

W algorytmach tych następuje badanie całej linii łamanej lub wyszczególnionego w przetwarzaniu jej segmentu, kolejno są wybierane punkty krytyczne linii łamanej. Przykładem takiej procedury jest algorytm Douglasa (1973). Na rysunku 3 przedstawiono kilka całkowitych iteracji tego algorytmu. W każdej z nich muszą zostać zidentyfikowane dwa punkty:

- początkowy tzw. kotwica – punkt ustalony,
- końcowy tzw. pływak – punkt, który się przemieszcza.

Pierwszym krokiem działania algorytmu jest ustalenie tzw. korytarza, czyli dwóch równoległych pasów po obu stronach wektora łączącego kotwicę z pływakiem. Szerokość korytarza jest obliczana jako podwójna wartość tolerancji zdefiniowanej przez użytkownika. Następnie algorytm oblicza odległości prostopadłe do wszystkich punktów pośrednich od linii kotwica-pływak i sprawdza czy maksymalna z tych odległości mieści się w granicach korytarza. Jeżeli się mieści to wszystkie punkty pośrednie są eliminowane z linii łamanej, a jeżeli nie to punkty te pozostają a współrzędne punktu o największej odległości zostają zapamiętane i punkt ten staje się pływakiem w następnej iteracji. Procedura tak działa, aż dojdzie do momentu, gdy pomiędzy kotwicą a pływakiem nie będzie żadnych punktów pośrednich i wówczas musi nastąpić zmiana kotwicy. Zostaje nią punkt, który w tej iteracji był pływakiem, a jako pływak jest ustalany pływak z wcześniejszej iteracji. Algorytm działa tak, aż cała linia łamana zostanie uproszczona.



Rys. 3. Algorytm Douglasa

R.B.McMaster zaliczył ten algorytm do grupy algorytmów globalnych i w związku z jego zaletami zaleca stosowanie go dla dokładnych odwzorowań linii łamanych jak również dla wykorzystania w cyfrowych baz danych. Jednak dla mniej surowych wymagań, bardziej skuteczna rachunkowo procedura jak np. algorytm Langa, będzie prawdopodobnie użyteczniejsza. Obecnie algorytm Douglasa jest najczęściej używaną procedurą upraszczania linii łamanych stosowaną w systemach kartograficznych i systemach informacji o terenie, głównie ze względu na uwzględnienie w procesie upraszczania hierarchii wierzchołków zależnej od kształtu upraszczanej linii łamanej.

2.3.1.6 Metoda obiektywna

W literaturze dostępnych jest kilka analiz przedstawionych powyżej algorytmów upraszczania linii łamanych jednak ocena tych algorytmów uwzględnia różne parametry, jakimi są np. kąty czy elementy liniowe. Brak w nich obiektywnego kryterium oceny procesu upraszczania linii łamanych i w związku z tym żaden z wyszczególnionych algorytmów nie może stanowić metody² upraszczania, zapewniającej przekształcenie linii łamanych w sposób niezależny od redaktora mapy.

Metoda obiektywna opracowana przez T.Chrobaka (1999) opiera się na założeniu, że w procesie upraszczania najważniejszym zadaniem jest zachowanie rozpoznawalności rysunku, przy tworzeniu z danych źródłowych mapy w określonej skali. W związku z tym określenie warunków rozpoznawalności rysunku będzie pozwalało w sposób obiektywny przeprowadzić proces upraszczania. Aby było to możliwe należy zdefiniować wzorzec (figurę geometryczną) odnoszący się jednoznacznie do badanej linii łamanej. Wzorcem tym jest trójkąt, gdyż każde dwa sąsiadujące ze sobą odcinki linii łamanej tworzą ramiona trójkąta, a jego podstawę określa początek i koniec badanych odcinków linii łamanej. Rozpoznawalność rysunku wyznacza nie pojedynczy odcinek linii łamanej, tylko sąsiadujące ze sobą dwa odcinki. Ustalając wymiar minimalny jednego z boków trójkąta, określamy jednoznacznie rozpoznawalność każdej linii łamanej. Trójkąt, którego długości

² Metoda – sposób postępowania, którego konsekwentne i odpowiednie do sytuacji stosowanie prowadzi do osiągnięcia zamierzonego celu (Wielka Internetowa Encyklopedia Multimedialna)

boków zachowują minimalne wymiary, został nazywany przez T.Chrobaka (1999) trójkątem elementarnym. Długość najkrótszego boku trójkąta, jako miara rozpoznawalności kształtu linii łamanej została określona następującą zależnością:

$$\varepsilon_j = sM_j \quad (1)$$

gdzie: s – miara progowa rozpoznawalności rysunku (najkrótsza długość boku trójkąta)

M_j – mianownik skali mapy opracowywanej.

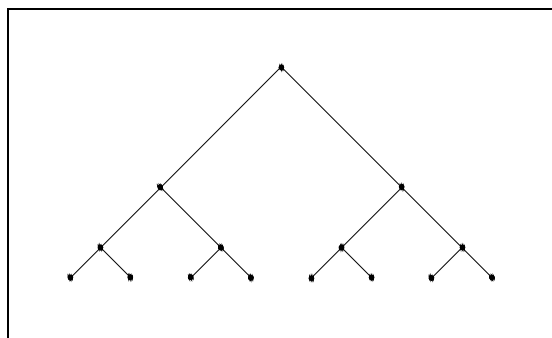
Długość s dla szerokości linii 0,1 mm dla rysunku mapy klasycznej („papierowej”) wynosi 0,5mm, natomiast dla rysunku prezentowanego na monitorze komputera 0,6mm. W ustaleniu tych wartości zostały wykorzystane:

- rozpoznawalność rysunku linii pojedynczej o szerokości 0,1mm zdefiniowaną przez K.S.Saliszczewa (1998),
- wielkość piksela przyjętą przez Szwajcarskie Towarzystwo Kartograficzne,
- dokładność na mapie szczegółów liniowych II grupy, określoną polskimi normami branżowymi przez GUGiK.

Kryterium rozpoznawalności rysunku linii łamanej zostaje w metodzie obiektywnej wykorzystane do wyboru punktów pozostających lub eliminowanych z linii łamanej w procesie upraszczania. Jeżeli tworzone trójkąty z badanych boków linii łamanej nie zachowują minimalnych wymiarów boków trójkąta elementarnego, to proces zostaje zakończony. W ten sposób zostaje zapewniona rozpoznawalność badanej linii łamanej na tworzonej mapie. Zakładane parametry do upraszczania są niezależne od redaktora, przez co algorytm upraszczania można uznać za obiektywny.

Drugim ważnym czynnikiem charakteryzującym metodę upraszczania jest powtarzalność procesu tzn. uzyskanie jednakowego obrazu linii łamanej na mapie wynikowej (z dokładnością rozpoznawalności rysunku linii łamanej) przy przechodzeniu z danych źródłowych do mapy opracowywanej bezpośrednio lub poprzez pośrednie skale (zawsze od skali większej do mniejszej). W metodzie obiektywnej zostaje to zapewnione, poprzez ustalenie hierarchii punktów linii łamanej, o której decyduje maksymalna odległość od cięciwy łączącej punkt początkowy i końcowy badanego segmentu linii łamanej. Określony w ten sposób punkt o największej odległości od cięciwy (jeżeli zostanie spełnione kryterium rozpoznawalności rysunku linii łamanej) dzieli ją na dwa segmenty do dalszego

upraszczania. W ten sposób wybierane zostają kolejne punkty charakterystyczne łamanej, a ich hierarchia ma charakter „drzewa” (Rys. 4). Kolejność ich odrzucania przy tworzeniu linii łamanej wynikowej o zadanej skali jest oddolna, więc „trzon” upraszczanej linii łamanej zawsze pozostaje niezmienny. Dzięki temu uzyskuje się ten sam obraz linii łamanej wynikowej niezależnie od doboru skal pośrednich w zbiorze danych źródłowych.



Rys. 4. Hierarchia wierzchołków upraszczanej linii łamanej

Trzecim warunkiem, jaki musi spełniać algorytm upraszczania, aby mógł on zostać uznany za metodę jest kryterium dokładności. W procesie upraszczania miarą dokładności jest rozpoznawalność rysunku linii łamanej na mapie opracowywanej oraz jej średni błąd długości (zgodny z błędem średnim długości określonym przez instrukcje techniczne). W omawianej metodzie linię po upraszczaniu określają punkty linii łamanej pierwotnej o znanej dokładności. Znając dokładność linii łamanej przed upraszczaniem i najkrótsze odległości od punktów pozostających do punktów odrzucanych znane są błędy pozorne w procesie. Średni błąd procesu upraszczania linii m_0 ma postać:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} \quad (2)$$

gdzie: v - najkrótsze długości do punktów odrzucanych (błąd pozorny),
 n - liczba punktów odrzucanych.

Dokładność danych linii na mapie opracowywanej przedstawia zależność:

$$m_l^2 = m_{l_0}^2 + m_0^2 \quad (3)$$

gdzie: m_{l_0} - średni błąd długości danych na mapie źródłowej,
 m_0 - średni błąd długości procesu upraszczania linii.

Warunek ten jest spełniony, a dowód przedstawiono w pracy T.Chrobaka (2003).

2.3.2. Całościowe podejście w generalizacji – modele generalizacji

Cechą charakterystyczną wymienionych powyżej prac dążących do określenia obiektywnych zasad generalizacji jest traktowanie tego procesu w kategoriach poszczególnych czynności, odnoszących się do kolejnych elementów treści mapy. Jeżeli nawet podejmowane są próby uwzględniania geograficznego charakteru tych elementów, to proces jest rozbijany na podprocesy cząstkowe, co nie daje zadowalających wyników. W związku z tym faktem wielu badaczy podejmuje próby uwzględnienia wszystkich czynników generalizacji i łączenia wszystkich rozwiązań. W stosunku do poprzednich cząstkowych rozwiązań, które arbitralnie określały sposób generalizacji poszczególnych elementów, w nowym podejściu podejmowane są próby uwzględnienia czynników branych dotychczas pod uwagę w podejściu manualnym. Dodatkowo zastosowanie nowych idei wymaga użycia nowych metodologii i technologii – chodzi o takie oprogramowanie, które w sposób zintegrowany uwzględniałoby nie tylko ilościowe, ale i jakościowe aspekty generalizacji map. Kartografowie zajmujący się problemem automatycznej generalizacji kartograficznej uważają, że zasadniczą przeszkodą w uzyskaniu uniwersalnego systemu jest z jednej strony brak pełnego zrozumienia generalizacji i związanych z nią reguł, a z drugiej brak odpowiednich technik dla procedur generalizacji. Stworzenie sprawnego zautomatyzowanego programu generalizacji kartograficznej, zdaniem R.B.McMastera (1991) wymaga rozwiązania trzech kompleksowych problemów:

- uzgodnienia konceptualnej ramy generalizacji cyfrowej w formie modelu generalizacji,
- zaproponowania procedur procesów i operatorów generalizacji³ oraz ich przetestowania,
- pozyskania wiedzy kartograficznej na podstawie informacji od doświadczonych kartografów i analizy istniejących map, a następnie jej zakodowania w postaci reguł.

Modele generalizacji ujmują proces generalizacji w sposób ogólny, wskazując na podstawowe elementy, składniki lub procesy oraz określając relacje między nimi.

³ Operator generalizacji – elementarne przekształcenie mapy, które można wyrazić formułą matematyczną lub jednoznacznym opisem procedury (algorytmu)

Pierwsze modelowe ujęcia pojawiły się w latach 60-tych i 70-tych ubiegłego stulecia. Warto tu zwrócić uwagę na fakt, że jednym z tych modeli jest model Ratajskiego, uważany przez R.B.McMastera i K.S.Shea (1992) za najważniejszy europejski model generalizacji. L. Ratajski (1989) wyróżnił dwa typy generalizacji:

- ilościową – wiążącą się z ubytkiem liczby zdarzeń pokazywanych na mapie,
- jakościową – polegającą na uogólnianiu pojęć, na zastępowaniu pojęć elementarnych pojęciami nadrzędnymi, bardziej syntetycznymi.

Istota tego modelu polega na wyznaczeniu „progów generalizacji”, czyli poziomów redukcji skali, w których pojemność mapy spada do takiego poziomu, że konieczna staje się zmiana kartograficznej metody prezentacji.

W latach 80-tych ubiegłego stulecia opracowano kilka modeli uwzględniających potrzeby systemów komputerowych i przeznaczonych do rozwiązywania kilku zadań w zakresie generalizacji. Poniżej zostanie zaprezentowane kilka najbardziej znaczących.

Pierwszym z nich jest model Nickersona i Freemana (1986) składający się z pięciu modułów, służących do modyfikacji obiektów, symbolizacji, przesuwania obiektów, redukcji skali i umieszczania napisów. W określeniu, które obiekty powinny się znaleźć w przedstawieniu po generalizacji posłużono się obliczeniem gęstości mapy docelowej. Możliwe były dwa podejścia. W pierwszym z nich definiowane były reguły eliminacji całych klas obiektów w zależności od skali. W drugim wydzielano pola, w których gęstość obiektów była zbyt duża, a następnie tylko w tych polach dokonywano eliminacji obiektów. Prototyp wykonany przez B.G.Nickersona i H.Freemana wykazał potrzebę używania prostych sposobów zmiany reguł w tej dziedzinie wiedzy i na tej podstawie zaproponowano oddzielenie reguł od reszty procesu generalizacji.

Pełniejszy model został opracowany przez K.Brassela i R.Weibla (1988). Jest to całościowy model dla potrzeb generalizacji cyfrowej. Kluczowym elementem koncepcji tych autorów jest biblioteka procesów, która zawiera prawa i procedury generalizacji w formie trzech składników: operatorów, wiedzy, oraz wartości tolerancji dla poszczególnych typów obiektów. Autorzy zaproponowali, aby generalizacja mapy była zdefiniowana jako wariant przestrzennego modelowania, argumentując, że generalizacja powinna bazować na rozumieniu, a nie na wykonaniu tylko sekwencji kroków przetwarzania. W takim świetle ramy generalizacji koncepcyjnej określone są w następujących krokach:

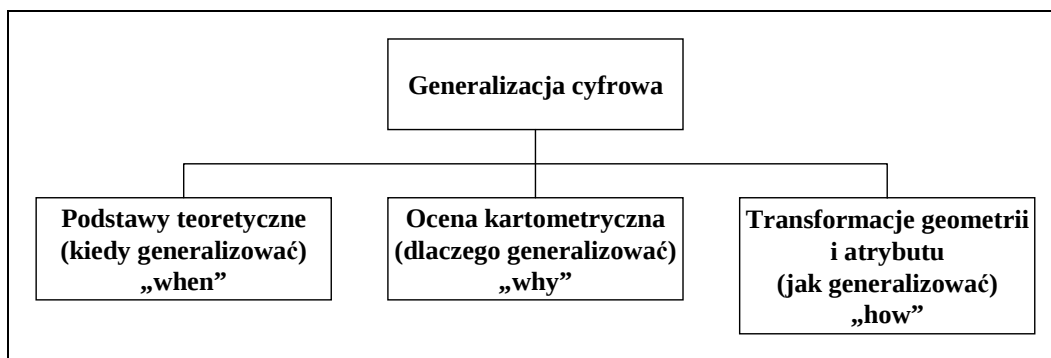
- rozpoznanie struktury,

- rozpoznanie, modelowanie i wykonanie procesów,
- prezentacja danych (wizualizacja).

Celem fazy rozpoznania struktury jest zidentyfikowanie obiektów lub ich skupisk, ich przestrzennych związków oraz ustalenie rangi ich ważności. Proces ten kontrolowany jest przez przesłanki generalizacji, tj. przez jakość pierwotnej (oryginalnej) bazy danych i skalę mapy docelowej. W rozpoznaniu procesów ustalane są typy modyfikowanych danych i parametry struktur docelowych. Pociąga to za sobą ustalenie, co powinno zostać wykonane na oryginalnej bazie danych, łącznie z rozwiązaniem konfliktów, decyzja zaś powinna dotyczyć typów obiektów i struktur, które mają się znaleźć na mapie pochodnej. Kolejny etap stanowi modelowanie procesów, w którym procesy generalizacji są wykonywane jako sekwencja kroków operacyjnych. Ten poziom modelu koncepcyjnego dotyczy spisu procesów, zawierającego zbiór reguł i procedur, niezbędnych do ich wykonania. W procesach wykonanie to powoduje „konwersję” pierwotnej bazy danych do postaci mapy docelowej poprzez sekwencję operacji wykonanych w ramach listy procesów. Procesy te wywołują mechanizmy selekcji, eliminacji, upraszczania, symbolizacji, przemieszczania obiektów i ich kombinacji. Ostatecznie na poziomie wizualizacji modelu koncepcyjnego dane znajdują swe odbicie w mapie docelowej.

Pierwszy zbiorczy, pojęciowy model generalizacji oparty na teorii generalizacji zaproponowali R.B.McMaster i K.S.Shea (1992). Generalizacja jest rozumiana przez autorów jako transformacja informacji przestrzennej i atrybutowej, która powinna być przeprowadzona w taki sposób, aby zapewnić czytelność mapy i treść odpowiednią z punktu widzenia określonego celu. W związku z tym określili oni pojęciowy model oparty na trzech kluczowych komponentach, które muszą być uwzględnione w systemach automatycznych (Rys. 5):

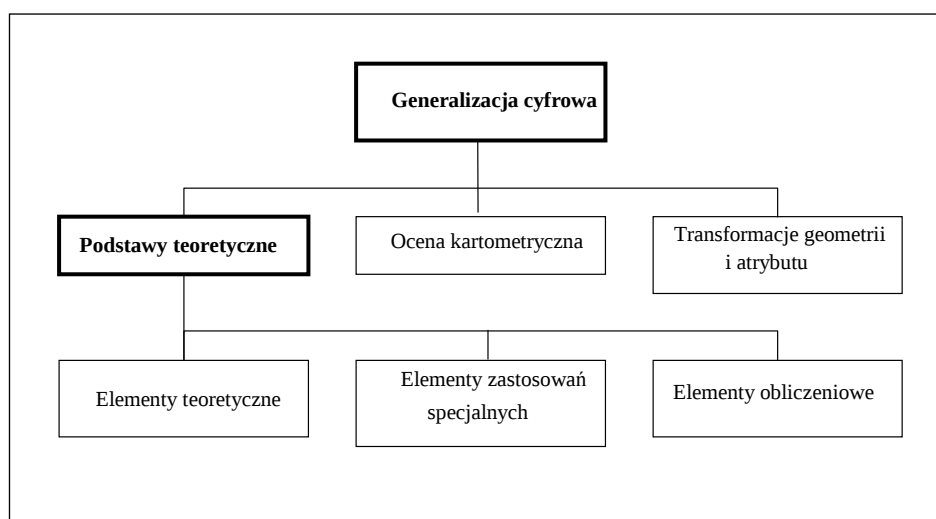
- podstawowy cel generalizacji (**dlaczego** generalizować) – rozważanie teoretyczne,
- zdefiniowanie sytuacji (**kiedy** generalizować) – kartometryczna ocena warunków,
- wybór odpowiednich transformacji geometrycznych i atrybutowych (**jak** generalizować).



Rys. 5 Struktura pojęciowa cyfrowej generalizacji (McMaster, Shea, 1992)

Pierwszy składnik pojęciowego modelu analizuje zachowanie wewnętrznych elementów generalizacji w środowisku cyfrowym w „**why**”. Elementy te obejmują (Rys. 6):

- elementy teoretyczne - zastosowanie ogólnych, intuicyjnych zasad kartograficznych,
- elementy zastosowań specjalnych - istnienie określonych wymagań przy rozpatrywaniu problemów generalizacji,
- elementy obliczeniowe - dyskusja na temat możliwości istnienia odpowiedniej technologii obliczeniowej.

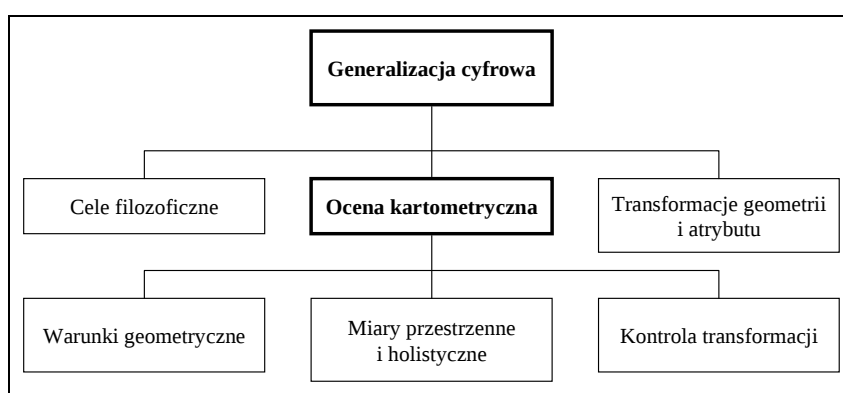


Rys. 6. Aspektu „why” procesu generalizacji cyfrowej (McMaster, Shea, 1992)

Sytuacje, w których wymagana jest generalizacja cyfrowa spotykamy najczęściej przy powodzeniu lub niepowodzeniu produkcji mapy, a wykorzystuje się ją w celu sprostania podanym celom mapy. Podczas kartograficznego procesu upraszczania,

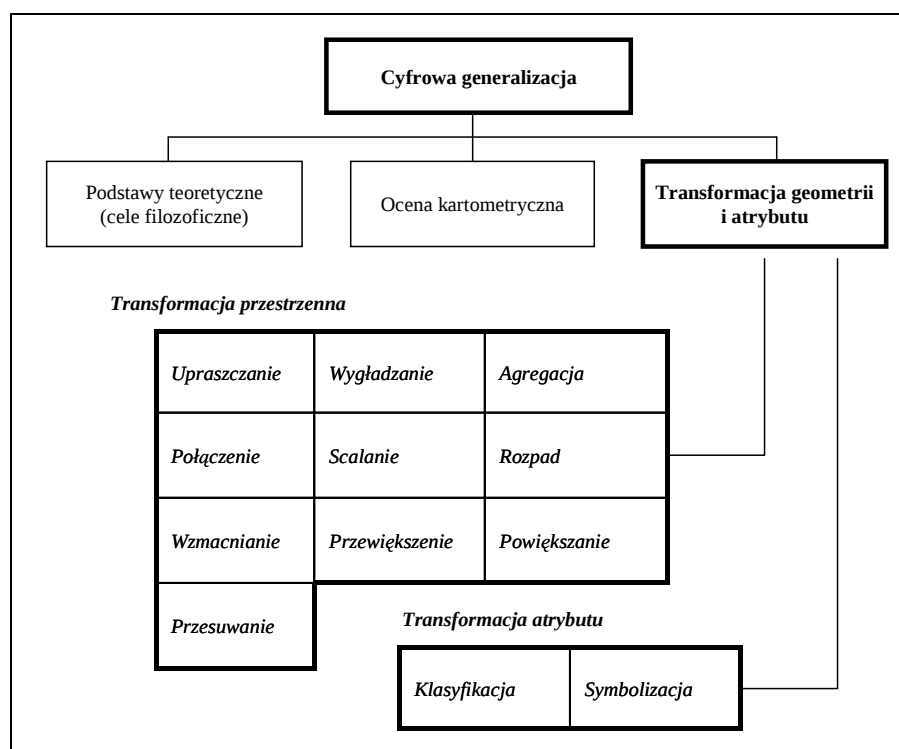
mapa przestaje zapewniać „utrzymanie klarowności, przy właściwej treści, przy danej skali, dla obranego celu mapy i zamierzonej prezentacji” (McMaster, Shea, 1988). Jak ilustruje rysunek 7, drugi element generalizacji - „**when**” - możemy analizować z trzech odrębnych punktów widzenia:

- warunków geometrycznych - na które powołuje się procedura generalizacji,
- przestrzennych i holistycznych, miar na podstawie których ta ocena jest dokonywana,
- kontroli transformacji - stosowanych technik generalizacji w celu realizacji zmian.



Rys. 7. Aspekt „when” procesu generalizacji cyfrowej (McMaster, Shea, 1992)

Ostatnia dyskutowana dziedzina rozważa składniki procesu generalizacji, które właściwie wykonują działania generalizacji w oparciu o redukcję skali i redukcję danych. Ten składnik generalizacji - „**how**” (Rys. 8), jest najbardziej powszechny dla operatorów przeprowadzających proces generalizacji. Operatory te rozwinęły się naśladując ręczną praktykę kartograficzną, jak również dzięki rozwojowi techniki opartej jedynie na matematycznych próbach (Shea, McMaster, 1989).



Rys. 8. Aspekt „how” procesu generalizacji cyfrowej (McMaster, Shea, 1992)

W trzecim okresie rozwoju generalizacji kartograficznej zostało zaproponowanych jeszcze wiele innych modeli koncepcyjnych i rozwiązań prototypowych, m. in. model Morrisona (1974), prototyp Astra opracowany przez F.L.Leberla, D.Olsona i W.Lichtnera (1985) model Meyera i Powitza (1990) jednakże godnym uwagi jest fakt, że większość tych modeli proponuje podejście do generalizacji z punktu topograficznego i jako podejście zakorzenione w aspektach graficznego przedstawienia.

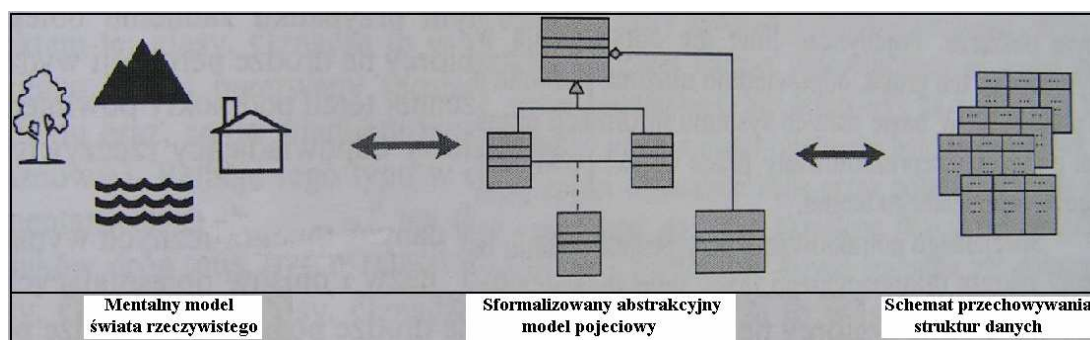
3. Modelowanie danych

Obecnie mapa coraz częściej jest generowana z bazy danych i stanowi element całego systemu informatycznego. W związku z tym codziennością kartografów staje się określanie zawartości bazy danych przestrzennych i projektowanie systemów informacji przestrzennej. Nie sposób, więc nie zauważać wytworzonych w informatyce i szeroko stosowanych analitycznych metod projektowania systemów informatycznych, które po wprowadzeniu odpowiednich rozszerzeń stają się doskonałym narzędziem pracy kartografa-analityka. Projektowanie to polega głównie na kolejnym budowaniu modeli systemu na różnych poziomach abstrakcji.

Pod pojęciem model (MEP-2003), jest rozumiany:

- izomorficzny układ elementów w stosunku do danego układu oryginalnego, ale prostszy i łatwiej dostępny badaniom,
- uproszczony schemat przedmiotu materialnego, zjawiska lub działania, ułatwiający jego implementację lub symulację komputerową.

Proces projektowania systemu wg K.Subiety (1998) przebiega zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 9. Na wstępie tworzony jest mentalny model świata rzeczywistego w umyśle projektanta, następnie zostaje utworzony sformalizowany model pojęciowy, który z kolei zamieniany jest na schemat struktur danych dostosowany do ograniczeń i możliwości środowiska implementacji. Najważniejszym etapem pierwszych faz tworzenia systemu informatycznego jest modelowanie pojęciowe.



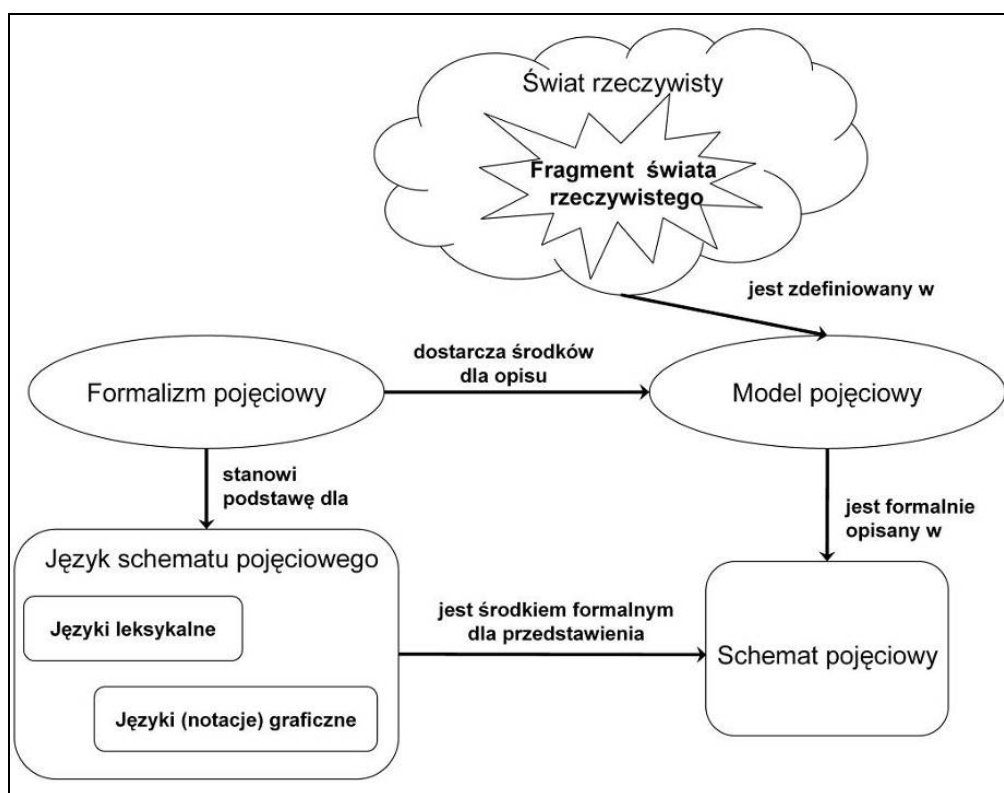
Rys. 9. Proces projektowania systemu (Subieta, 1998)

Modelowanie (MEP-2003) to przybliżone odtwarzanie najważniejszych właściwości oryginału. Podstawowym celem (modelowania w nauce) jest uproszczenie złożonej rzeczywistości, pozwalające na poddanie jej procesowi badawczemu. Dzięki modelowaniu:

- zmniejsza się lub powiększa obiekt badań do dowolnej wielkości, np. model Układu Słonecznego,
- analizuje się procesy trudne do uchwycenia ze względu na zbyt szybkie lub zbyt wolne tempo ich przebiegu, np. model ruchu cząsteczek wody w wodospadzie,
- bada się jeden wybrany aspekt zagadnienia, pomijając inne, np. model transportu pasażerskiego w pociągach ekspresowych w okresie wakacyjnym.

Modelowanie pojęciowe to wg W.Pachelskiego (2005) proces opisu fragmentu świata rzeczywistego, ograniczonego zarówno przedmiotowo – opisujemy niektóre, ale za to wyróżniające jego (świata) cechy, jak też przestrzennie. Proces ten ilustruje rysunek 10, na którym schemat pojęciowy uwzględnia zarówno:

- abstrakcyjne przedstawienie modelowanego fragmentu świata,
- opis fragmentu ujęty w języku formalnym.



Rys. 10. Proces modelowania pojęciowego (Pachelski, 2005)

Modelowanie pojęciowe powinno być wykonywane zarówno w tradycyjnym opracowaniu koncepcyjnym mapy analogowej jak i w opracowaniu koncepcji systemu informacji przestrzennej. Wymaga ono przede wszystkim zidentyfikowania i zdefiniowania tego fragmentu rzeczywistości, dla którego buduje się model (np. topografia terenu, podział administracyjny, zjawiska i procesy demograficzne), a następnie zidentyfikowania i sklasyfikowania obiektów wchodzących w jego skład, ustalenia ich cech oraz sformułowania ich wzajemnych współzależności (Pachelski, 1996). Wybór obiektów i ich cech musi podlegać określonym zasadom modelowania, które sprowadzają się przede wszystkim do idealizacji danego obiektu czy zjawiska z określonego punktu widzenia (odrzućcie cech z tego punktu widzenia nieistotnych, a uwzględnienie cech uznanych za istotne).

Modelowanie pojęciowe wykonywane w procesie projektowania mapy jak i w procesie projektowania systemu będzie prowadziło do wyróżniania klas obiektów, relacji i atrybutów obiektów oraz stosowania mechanizmów uogólniania, agregacji i klasyfikacji, przy czym w przypadku projektowania mapy będzie to zwykle proces niesformalizowany i oparty na indywidualnych doświadczeniach kartografa, a w ramach projektowania systemu informatycznego będzie w większości przypadków wspomagane przez odpowiednie formalne środki wzmacniające ludzką pamięć i wyobraźnię. Środki te są z reguły oparte na graficznym przedstawieniu obrazów mentalnych rzeczywistości opisywanej przez dane oraz na przedstawieniu graficznym struktur danych, procesów i algorytmów składających się na konstrukcję systemu.

3.1. Modelowanie danych geograficznych

3.1.1. Definicje pojęć

Właściwy opis modelowania danych geograficznych⁴ wymaga definicji terminologii:

- geograficznej,

⁴ Dane geograficzne - dane, w tym dane przestrzenne dotyczące obiektów przestrzennych powiązanych z powierzchnią Ziemi i połączonych ze sobą różnymi związkami; obiekty te mają charakter naturalny lub antropogeniczny (Gaździcki, 2001)

- bazodanowej,
- geometrycznej.

Jak dotąd żadna z tych kategorii nie posiada zestandaryzowanej terminologii.

Pierwszą kategorię stanowi terminologia geograficzna. Używając terminów geograficznych próbujemy zrozumieć i opisać nasze postrzeganie świata. Terminologia geograficzna jest wysoce abstrakcyjna, wymaga dużej wyobraźni, wiedzy i umiejętności wnioskowania oraz przewyższa dalece aspekty techniczne systemów informacji przestrzennej i kartografii automatycznej.

TERMINOLOGIA GEOGRAFICZNA – jak ma się do świata rzeczywistego

Obiekt (*Feature*) - zjawisko świata rzeczywistego, naturalne lub stworzone przez człowieka. Obiekt jest definiowany w odniesieniu do kontekstu i może być uznany za koncepcyjną i semantyczną interpretację zjawisk naturalnych lub stworzonych przez człowieka.

Klasa obiektu - jest to koncepcyjne przyporządkowanie obiektów, które posiadają wspólną charakterystykę. Definicja klasy stanowiącej zbiór obiektów zależy od kontekstu.

Drugi poziom sięga do terminologii bazy danych. Na tym poziomie próbujemy przełożyć nasze postrzeganie świata rzeczywistego na język środowiska cyfrowego. Natomiast abstrahowanie i kontekstowa natura terminologii geograficznej stanowi przeszkodę w projektowaniu modelu będącego „prawdziwym przedstawieniem” świata rzeczywistego. Pomimo to, wewnątrz takich granic koncepcyjnych, środowisko cyfrowe daje możliwość interpretacji otaczającej rzeczywistości.

TERMINOLOGIA BAZODANOWA – jak ma się do środowiska GIS:

Klasa - tworzą ją obiekty należące do jednej i tylko jednej kategorii. Klasy w środowisku bazodanowym często posiadają listę atrybutów i są identyfikowane przez etykietę lub nazwę klasy.

Obiekt (*Object*) - jest cyfrową interpretacją *Feature*. Na poziomie aplikacji definiowany jest *Feature* w odniesieniu do konkretnego kontekstu, cyfrowo zaś przedstawiany jest jako *Object*. Z tego powodu, *Object* zawiera zarówno opis tematyczny jak i przestrzenny i posiada znaczenie.

Klasa obiektu - grupa obiektów (*Feature*) zdefiniowana w środowisku GIS jako obiekty (*Object*), która posiada wspólną strukturę atrybutów.

Domena atrybutów - jest to zbiór wartości, z którego pewne obiekty o szerokim zakresie semantycznym czerpią swoje cechy i wartości tych cech. Na przykład,

liczby trzycyfrowe tworzą domenę, z której przyjmuje wartość atrybutu „długość rzeki”.

Atrybut obiektu - charakterystyka lub właściwość obiektu (Object). Na przykład długość rzeki może być atrybutem obiektu zdefiniowanego jako „rzeka Wisła”.

Wartość atrybutu obiektu - wartość przypisana do właściwości obiektu. Na przykład rzeka Wisła może mieć atrybut obiektu zwany długością. Wartość atrybutu obiektu wynosi „1044” [km].

Encja - może ją stanowić oddzielny wierzchołek, krawędź (łuk) lub region topologiczny. Encja często odnosi się do części składowych obiektu, przykładem encji jest dopływ rzeki.

Encja złożona - zbiór encji atomowych, tworzących łańcuch, obszar lub część obszaru. Z encją złożoną mamy do czynienia tylko wtedy, gdy encja lub ich zbiór mają wspólną więcej niż jedną identyfikację obiektu lub encji.

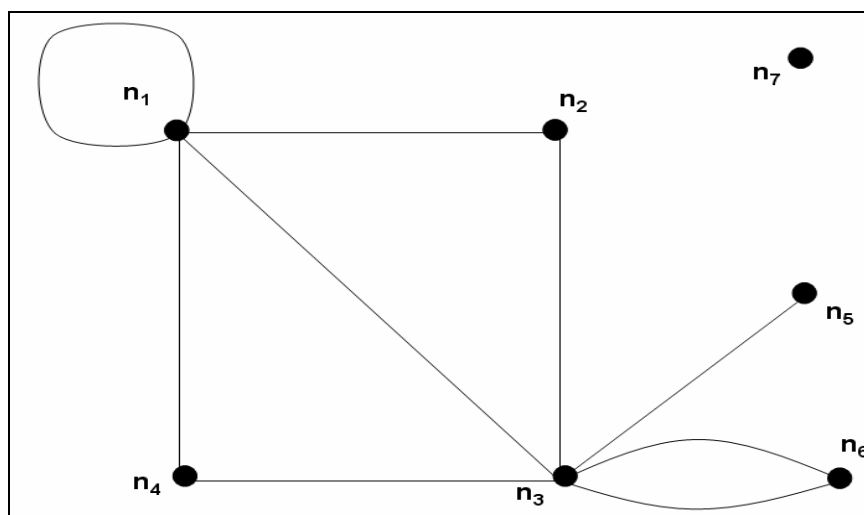
Atrybut encji - charakterystyka lub właściwość encji. Np. pojedyncze węzły w teorii grafów (patrz poniżej) mogą być użyte do prezentacji miejsc zaludnionych. Atrybutem może być statystyka populacji. Podobnie, krawędzie mogą reprezentować odcinki strumienia z atrybutem rangi strumienia.

Wartość atrybutu encji - wartość przypisana do encji, np. wartością atrybutu encji rangi strumienia może być „2”.

Trzeci poziom definicji dotyczy terminologii geometrycznej i jest uznawany za poziom operacyjny, który zawiera aspekty podstawowe niezbędne do skonstruowania modelu cyfrowego. Bazuje on na teorii grafów zgodnie, z którą dane geometryczne są przedstawiane na płaszczyźnie przy pomocy węzłów, krawędzi (łuków) oraz poligonów. Dane te nazywamy grafami dwuwymiarowymi (graf płaski⁵). Rozpatrując grafy dwuwymiarowe należy rozróżnić graf zorientowany, który jest funkcją przyporządkowującą każdemu łukowi $e_i \in E$ uporządkowaną parę węzłów (n_l, n_k) , $n_l \in N$, $n_k \in E$. W grafie skierowanym n_l nazwiemy węzłem początkowym, a n_k - węzłem końcowym. Jeżeli w grafie skierowanym każdemu łukowi będzie przyporządkowana para węzłów (n_l, n_k) lub (n_k, n_l) to taki graf nazwiemy niezorientowanym (żaden węzeł krawędzi nie jest wyróżniony) (Rys. 11),

⁵ Graf G , który ma względem siebie graf geometryczny G' , dający się przedstawić na płaszczyźnie bez przecięć linii krawędziowych nazywamy grafem planarnym, natomiast odpowiadający mu graf geometryczny G' na płaszczyźnie nazywamy grafem płaskim (Kulikowski, 1986)

a utworzony łuk – krawędzią (Kulikowski 1986, Adamski, Ogrodzki 2005). W pewnych przypadkach korzystniejszym jest rozpatrywanie grafów nieorientowanych jako uogólnionej reprezentacji grafu zorientowanego. Twierdzenia funkcjonujące dla grafów nieorientowanych są prawdziwe także dla grafów zorientowanych, a odwrotnie nie zawsze.



Rys. 11. Ilustracja grafu płaskiego nieorientowanego (Kulikowski, 1986)

TERMINOLOGIA GEOMETRYCZNA – jak odpowiada teorii grafów

Węzeł

W grafie płaskim zbiór węzłów $N = \{n_1, \dots, n_x\}$. Jedna krawędź zawiera dwa węzły, stąd każda krawędź jest nieuporządkowanym podzbiorem dwuelementowym zbioru N .

Na rysunku 11 zbiór węzłów zawiera:

$$N = \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7\} \quad (4)$$

Przyległość

Dwa węzły n_1 i n_2 grafu są przyległe, jeśli istnieje krawędź lub łuk je łączący. Węzły te określamy wówczas przyległymi do krawędzi.

Stopień węzła

Stopniem m węzła (n_x) nazywamy liczbę krawędzi incydentnych do n_x (mających w parze węzłów węzeł n_x), co zapisujemy jako $\deg(n_x)$. Na rysunku 11 węzeł n_3 jest stopnia 6, bo taka jest liczba incydentnych krawędzi.

$$m = \deg(n_x) \quad (5)$$

(Dwie krawędzie grafu nazywają się incydentnymi, jeżeli jednym z wyznaczających je wierzchołków jest ten sam węzeł)

Krawędź

Każda krawędź zapisana jest jako dwuelementowy nieuporządkowany podzbiór zbioru węzłów N . A zatem zbiór krawędzi $E(G)$ dla grafu na rysunku 11 zapiszemy jako:

$$E(G) = \{\{n_1, n_1\}, \{n_1, n_2\}, \{n_1, n_3\}, \{n_1, n_4\}, \{n_2, n_3\}, \{n_2, n_4\}, \{n_3, n_5\}, \{n_3, n_6\}\} \quad (6)$$

Pętla własna

Jest to krawędź powstała poprzez incydencję węzła z samym sobą (na rysunku 11 węzeł n_1).

Łańcuch

Ciąg węzłów grafu niezorientowanego taki, że dla każdej pary sąsiadujących w ciągu węzłów istnieje łącząca je krawędź. Łańcuch zapiszemy jako:

$$g = [S, L] \quad (7)$$

gdzie: g – podgraf grafu G ,

S – ciąg węzłów podgrafu,

L – zbiór krawędzi podgrafu g .

Liczba krawędzi w łańcuchu nazywana jest jego długością, np. łańcuch $S = \{n_5, n_3, n_4, n_1, n_2\}$, ma długość 4 tj. $n-1$ liczby węzłów ciągu.

Jeżeli w ciągu węzłów S żaden węzeł nie wystąpi więcej niż jeden raz łańcuch taki nazwiemy elementarnym, jeżeli żadna krawędź nie wystąpi więcej niż jeden raz to łańcuch taki nazwiemy prostym.

Cykl

Jeżeli pierwszy węzeł w łańcuchu (ciągu węzłów) jest jednocześnie ostatnim to mówimy, że ścieżka jest zamknięta i stanowi cykl grafu. Łańcuch elementarny spełniający warunek identyczności pierwszego i ostatniego węzła w ciągu nazwiemy cyklem elementarnym adekwatnie z łańcucha prostego tworzymy cykl prosty.

3.1.2. Poziomy informacji w modelowaniu danych geograficznych

W modelowaniu danych geograficznych wyróżnionymi cechami danych są ich własności geometryczne, topologiczne i semantyczne. W celu określenia lokalizacji informacji geograficznej⁶, należy uwzględnić trzy poziomy informacji:

- geometryczny - określający kształt obiektów geograficznych,
- topologiczny - opisujący relacje topologiczne pomiędzy obiektami geometrycznymi jak np.: powiązanie, bliskość,...,
- semantyczny (tematyczny) - opisujący własności obiektów geograficznych.

DANE GEOMETRYCZNE

Dane geometryczne składają się z:

- punktów,
- linii,
- obszarów.

Linie można zdefiniować jako:

- łańcuch odcinków,
- łańcuch linii, które są bardziej skomplikowane niż odcinki (np. krzywe drugiego i wyższych stopni),
- połączenie odcinków i krzywych.

Obszar geometrycznie określa poligon – łańcuch linii, które tworzą obszar zamknięty. Poligon może zawierać w sobie inne poligony (np. na jeziorze wyspa).

DANE TOPOLOGICZNE⁷

Informacja topologiczna jest niezbędnym elementem procesu automatycznej generalizacji kartograficznej, gdyż sam zbiór odcinków i punktów nie może dostarczyć wystarczającej ilości informacji do przeprowadzenia tego procesu.

⁶ Informacja - wiedza uzyskana w drodze interpretacji danych, która w ustalonym kontekście ma określone znaczenie i dotyczy obiektów, takich jak fakty, zdarzenia, przedmioty, zjawiska, procesy i idee.

Informacja geograficzna - informacja uzyskiwana w drodze interpretacji danych geograficznych (Gaździcki, 2001)

⁷ Topologia - dział matematyki badający te własności figur, które nie ulegają zmianom przy różnego rodzaju przekształceniach, np. przy przesuwaniu (Płoński, 1999)

W procesie generalizacji tradycyjnej (ręcznej) doświadczenie kartografa przeprowadzającego generalizację zastępowało topologię i związki topologiczne. W generalizacji automatycznej bez informacji topologicznych będziemy dysponować jedynie prostymi typami geometrycznymi: punkt, linia, obszar. Wprowadzając informacje topologiczne przekształcamy te proste typy geometryczne w obiekty punktowe, liniowe i powierzchniowe, pomiędzy którymi zaistnieją pewne związki zwane relacjami⁸. Dane geograficzne zostają zgodnie z teorią grafów przedstawione przy pomocy węzłów, krawędzi, łuków oraz poligonów (omówione w rozdziale 3.1.1.) Aby grupę linii można było przekształcić w określony kształt, oprócz współrzędnych punktów załamania linii należy uwzględnić takie informacje jak: obiekt poprzedni, obiekt następny, obiekt sąsiadujący z lewej oraz prawej strony. Ten zasób informacji dodatkowych pozwala na krótszy czas i mniejsze koszty wykonywania analiz przestrzennych i badania wzajemnych przestrzennych relacji między obiektami.

Można mówić o różnych przedstawieniach topologii uzależnionych od modelu danych (topologia sieci, topologia pełna), a im detale są bardziej szczegółowe tym lepsze.

DANE SEMANTYCZNE

Dane semantyczne są definiowane jako opisowe (nie geometryczne) dane geograficzne tworzące pewne całości zarówno proste (budynki, odcinki dróg, skrzyżowania) jak i złożone (grupy budynków, ciągi drogowe i skrzyżowania z autostradą). Każdej całości czy obiektowi możemy przypisać informacje określające jego cechy takie jak nazwę czy numer. Przykładowe opisy tematyczne przedstawiono w tabeli 1.

⁸ Relacja - (podstawowe pojęcie logiki formalnej) oznacza związek lub zależność pomiędzy dwoma lub więcej przedmiotami, pojęciami, wielkościami danego rodzaju (MEP, 2003)

Tab. 1. Przykładowe obiekty i ich opisy semantyczne

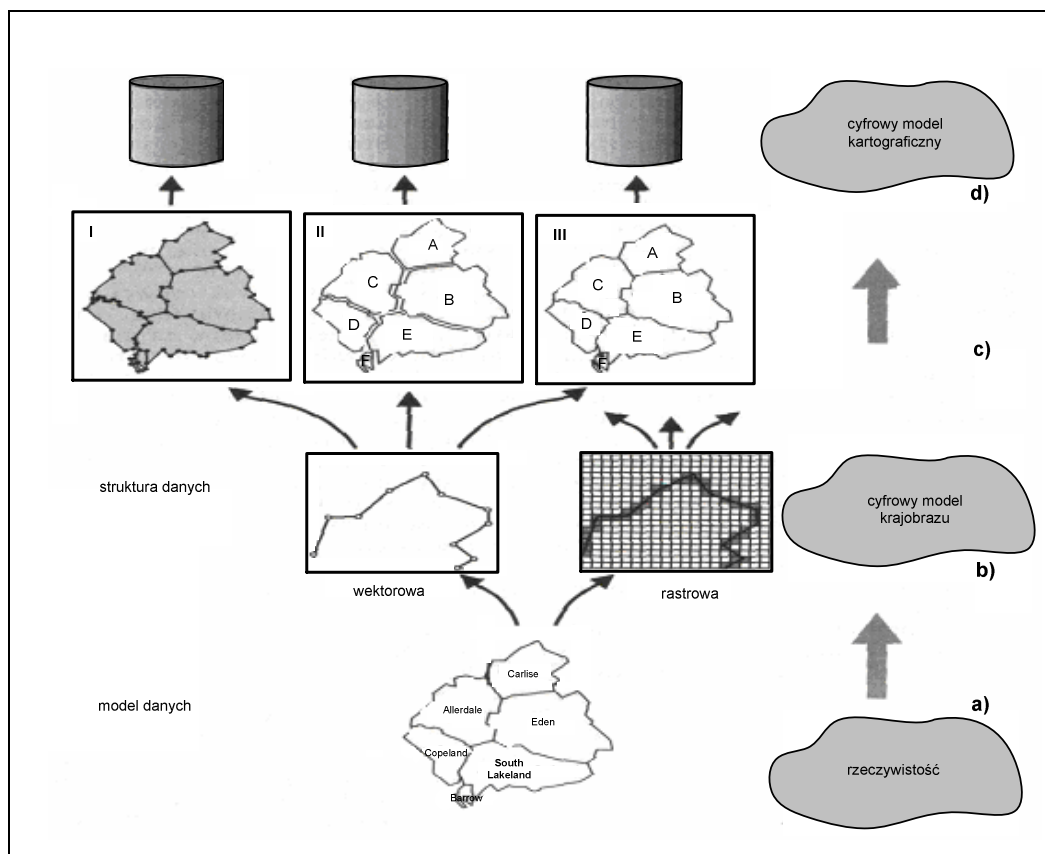
Opis tematyczny	Miejscowość
Miasto	Wszystkie wydzielone miejscowości o populacji powyżej 5000 mieszkańców
Wieś	Wydzielona miejscowość o populacji poniżej 1000 mieszkańców
Opis tematyczny	Sieci cieków
Rzeka	Ciek naturalny powstały z połączenia strumieni lub wypływający z jeziora, źródła, nieraz z obszaru zabagnionego
Opis tematyczny	Kompleksy pokrycia terenu
Las	Naturalny lub utworzony przez człowieka ekosystem lub zespół ekosystemów, w którego szacie roślinnej dominują zwarcie rosnące drzewa powyżej 2m wysokości
Ogródki działkowe	Obszar ziemi, na ogół na terenie miasta lub w jego pobliżu, przeznaczony do uprawy warzyw, owoców, kwiatów oraz rekreacji
Roślinność trawiasta	Grunty pokryte roślinnością założoną z licznych gatunków wieloletnich traw, roślin motylkowych i ziół, użytkowane jako łąki kośne lub do okresowego wypasu, a na terenach miejskich trawniki

3.1.3. Charakterystyka procesu modelowania danych geograficznych

W procesie modelowania danych geograficznych wyróżnia się etapy, do których należą (Peuquet, 1984)(Rys. 12):

- rzeczywistość (obiekty geograficzne i ich cechy),
- model danych,
- struktura⁹ danych,
- struktura gromadzenia.

⁹ Struktura - zbiór elementów $a, b, c, \dots$, w którym określono relację $a \leq b$ zwrotną i przechodnią, zwaną relacją częściowego porządku, i w której dla każdej pary: a, b elementów istnieje (jednoznacznie określony) najmniejszy element większy od obu elementów tej pary, oznaczany symbolem $a \cup b$ oraz analogicznie (jednoznacznie określony) największy element mniejszy od obu elementów pary, oznaczany symbolem $a \cap b$. (Encyklopedia PWN, 1968)



Rys. 12. Organizowanie danych przestrzennych: (a) wybór z rzeczywistości na podstawie modelu danych, (b) wybrane dane zapisane w formacie rastrowym lub wektorowym (cyfrowy model krajobrazu), (c) charakter danych określa poziom przeszukiwania, (d) określa, jaką mapę można opracować (Kraak, Ormeling, 1998)

Dla każdej z tych kategorii jest wykonywana selekcja, zgodna z własnościami modelu danych. Wybór odpowiedniej struktury danych wiąże się z decyzją czy dane będą reprezentowane w formie rastrowej (dane organizowane są na podstawie adresów przestrzennych – cechy geometryczne są określane przez położenie komórek siatki, a adresy komórek są połączone z atrybutami) czy wektorowej (dane zorganizowane zgodnie z charakterem obiektów). Wybór tej struktury powinien uwzględniać oprogramowanie do jej obsługi. Oceniając charakter dostępnych na rynku aplikacji z punktu widzenia struktury danych, należy uwzględnić następujące jej właściwości:

- kompletność – możliwość reprezentowania wszystkich wybranych danych modelu,
- skuteczność – dostępność danych,
- pochodzenie – metoda gromadzenia danych,

- elastyczność – możliwość adoptowania struktury do nowych okoliczności,
- funkcjonalność – wachlarz pytań zadanych do danych o różnej strukturze.

3.1.3.1 Struktura modelowania danych

Dla opisu modelowania danych ogólnie rzecz biorąc stosuje się pojęcia zapożyczone z teorii algebry zbiorów:

- a) Elementem zasadniczym, jest obiekt.
- b) Obiekty podobne zgrupowane są w jednej klasie.
- c) Dla opisanie cech charakterystycznych tych obiektów przypisuje się im atrybuty i ich wartości.
- d) Obiekty podobnej klasy posiadają taką samą listę atrybutów, choć ich wartości mogą ulegać zmianie.
- e) Związki pomiędzy obiektami nazywane są relacjami. Relacje i atrybuty definiowane są na poziomie klasy i stąd są matematycznymi relacjami pomiędzy pokrewnymi zbiorami.

Definiowanie atrybutów, to podanie:

- ich typu (całkowite, rzeczywiste, charakterystyczne, inne),
- mocy zbioru (liczby kardynalnej),
- domeny atrybutów (z listy lub podzbioru),
- sposobu określenia wartości atrybutów (przypisana, obliczona, wywiedziona).

Relacje mogą uwzględniać:

- kompozycje (wartość, komponent),
- opis (przedstawiony jako, blisko ..., przepływa przez, styka się z ...).

Inne informacje mogą być dodane jako metadane określające jakość danych (metoda tworzenia, wiarygodność) oraz źródło (pozyskania, uaktualnienia).

3.1.3.2 Sposób przedstawienia informacji geograficznych

Istnieje kilka schematów danych, pomiędzy którymi można wybrać sposób przedstawienia informacji geograficznych. Zasadniczo wybór zależy od przeznaczenia mapy i zastosowanego systemu zarządzania bazą danych. Np. można wybrać połączenie poziomów geometrycznego i semantycznego tak, że geometria

staje się atrybutem obiektu geograficznego. Z drugiej strony można oddzielić geometrię od semantyki. W takim przypadku powszechnie definiuje się obiekty:

- geometryczne: węzeł, krawędź, ściana,
- proste: obiekty semantycznie powiązane z obiektami geometrycznymi,
- złożone: powstałe z obiektów prostych lub złożonych.

Np. droga krajowa jest obiektem złożonym składającym się z odcinków drogi. Odcinki drogi są obiektami prostymi złożonymi z obiektów geometrycznych takich jak krawędź. Skrzyżowanie autostradowe jest obiektem złożonym utworzonym z obiektów prostych, jakimi są drogi dojazdowe.

Możliwe jest również pominięcie obiektów złożonych poprzez przypisanie atrybutów obiektom prostym, które obejmują obiekty złożone. Np. obiekt złożony droga krajowa nr 7 może zostać pominięty a odcinkom drogi, które wchodzą w jej skład można przypisać atrybut „nazwa drogi” i wartość E7.

W zależności od użytej specyfikacji, dane można tematycznie pogrupować na: miejsca zaludnienia, hydrografię, pokrycie terenu, drogi,.... Każdy temat obejmuje dane geometryczne i semantyczne i posiada ich pewien zakres.

3.1.3.3 Modelowanie obiektów geometrycznych i semantycznych

Ogólnie biorąc geometria obiektów opisywana jest jako zbiór punktów. Obiektom geometrycznym, w celu lepszego ich zdefiniowania (Buttenfield,1991) można przypisać atrybuty, takie jak:

- kierunek główny,
- gęstość punktów,
- amplituda względem kierunku głównego,
- powierzchnia zawarta pomiędzy krzywą a linią główną.

Jeżeli chodzi o cechy semantyczne obiektów, niektórzy autorzy twierdzą, że geograficzne bazy danych powinny stać się czymś więcej niż prostym zbiorem punktów, linii, powierzchni posiadających określone atrybuty. Aby to uzyskać należy zintegrować pojęcia z wyższych poziomów, które wyjaśniają naturę danych i ich struktur (Neyegres, 1991). Oczywiście jest, że obiekt, który zawiera pełniejszą informację, jest łatwiejszy do wyboru w procesie generalizacji. Odmienne niż

w przypadku treści map, gdzie użytkownik sam może wykryć złożone relacje pomiędzy obiektami prostymi a złożonymi.

3.1.3.4 Relacje pomiędzy obiektami

W procesie modelowania danych geograficznych naukowcy duże znaczenie przywiązują do określenia relacji między obiektami, które pozwolą na stosowanie reguł w źródłowych bazach danych przestrzennych w celu elastycznego generowania geometrii obiektów zależnej od stopnia uogólnienia informacji geograficznej. Wyróżniają relacje zachodzące między atrybutami obiektów lub klas obiektów oraz relacje przestrzenne, dotyczące wzajemnego położenia przynajmniej dwu obiektów w przestrzeni geograficznej.

T.L.Neygers (1991) dzieli informacje o obiektach na dwa znaczenia:

- wewnętrzne – obejmuje przestrzenne, czasowe i tematyczne aspekty obiektu,
- zewnętrzne – oparte na relacji obiektu z obiektami geograficznymi.

K.Buczkowski (2005) (Rys.13) rozpatruje relacje przestrzenne jako:

- metryczne - zachodzące między obiektami w przestrzeni geograficznej,
- uproszczone (pochodne względem metrycznych) - zachodzące między reprezentacjami obiektów w bazie danych (odporne na rozciąganie, skalowanie i rotacje).

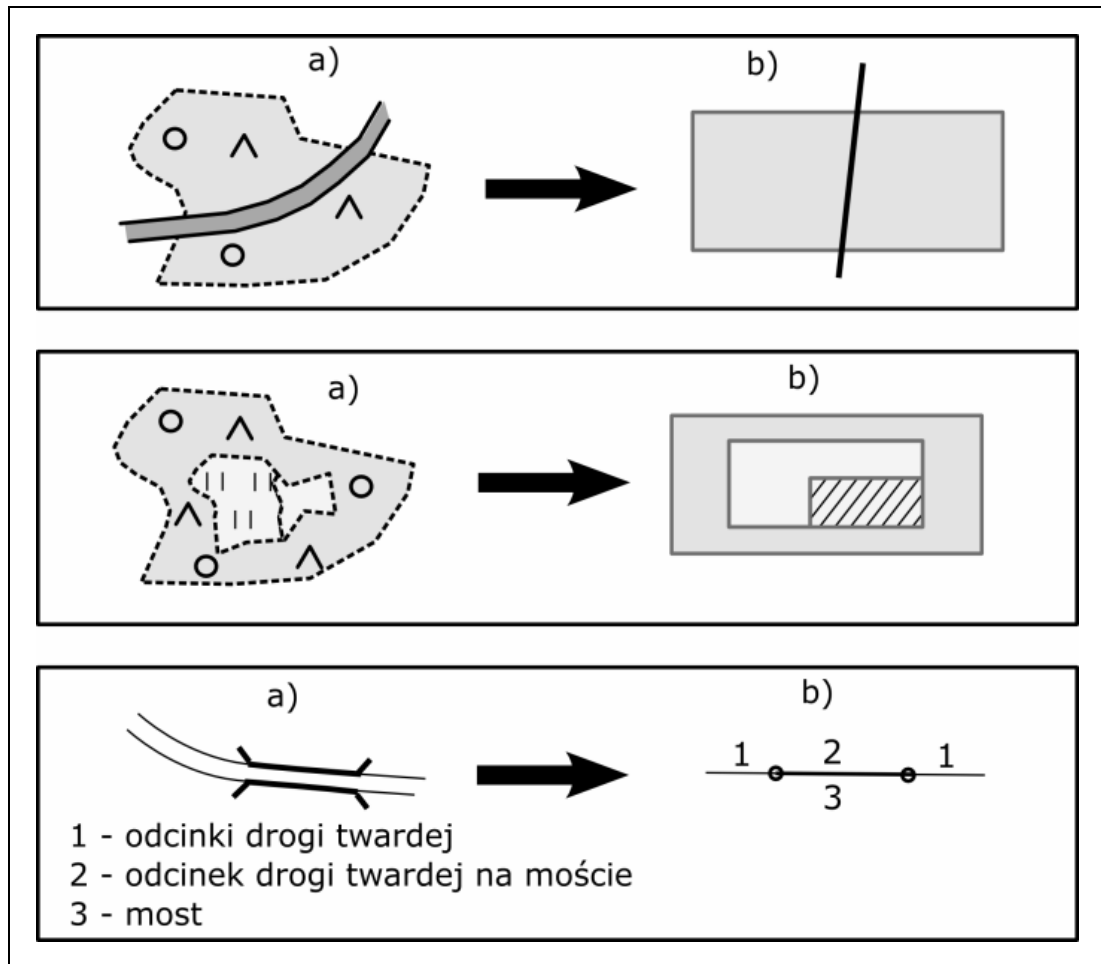
R.Laurini (1992) wskazuje podział relacji przestrzennych na trzy części:

- metryczne (odległość, kierunek),
- topologiczne (orientacja, sąsiedztwo, powiązania),
- rzędowe (włączenie, wyłączenie).

T.Kilpelainen (1992) natomiast zwraca uwagę na relacje pomiędzy obiektami przestrzennymi, które są istotne z punktu widzenia prawidłowego opanowywania konfliktów (powstałych na skutek automatycznej generalizacji kartograficznej) wewnątrz i między obiektowych. Są to relacje typu:

- punkt $\leftrightarrow$ punkt, jaka jest bliskość ?
- punkt $\leftrightarrow$ linia, jaka jest bliskość? Czy jest na linii?
- punkt $\leftrightarrow$ powierzchnia, czy jest wewnątrz powierzchni?
- linia $\leftrightarrow$ punkt, czy są połączone?
- linia $\leftrightarrow$ linia, czy się przecinają ?

- linia $\leftrightarrow$ powierzchnia, czy jest na zewnątrz, czy się przecinają?
- powierzchnia $\leftrightarrow$ punkt, czy zawiera punkt?
- powierzchnia $\leftrightarrow$ linia, czy zawiera linię?
- powierzchnia $\leftrightarrow$ powierzchnia, czy się stykają, czy się nakładają?



Rys. 13. Przykłady relacji: a) metrycznych, b) uproszczonych (Buczowski, 2005)

3.2. Modelowanie danych dla potrzeb generalizacji kartograficznej

Abstrahowanie i definiowanie obiektów jest w znacznym stopniu zależne od użytkownika i w związku z tym ważne jest, aby model danych był dopasowywany i/lub rozwijany w odniesieniu do potrzeb, dla których będzie stosowany oraz aby umożliwiał dokonywanie transformacji zależnej od potrzeb użytkownika w oparciu o związki topologiczne, logiczne i semantyczne. Wymagania dla transformacji wynikających z potrzeb użytkownika należy rozumieć także w ten sposób, że

struktury muszą dopuszczać dekompozycję danych jak również ich łączenie, co jest podstawą procesu generalizacji. Model ma zawierać również koncepcję hierarchii klas, zapewniając w ten sposób możliwość projektowania koncepcyjnych struktur podklas, klas i superklas na poziomie logicznej struktury danych. Dla celów generalizacji niezbędne jest także rozróżnienie wewnątrz modelu komponentów tematycznych i geometrycznych.

W generalizacji komputerowej abstrahowanie danych znajduje się na innym poziomie niż skala. Ponieważ sposób wykorzystania danych w aplikacjach znacząco się zmienił, prowadząc również do abstrahowania, można stwierdzić, że podstawowy model danych ma pozwalać na maksymalną elastyczność wykorzystania danych, zapewniając jednocześnie stabilne ich środowisko. Dodatkowo, rozpatrując abstrahowanie jako proces generalizacji oraz jako proces modelowania, model danych powinien być dostatecznie elastyczny, aby zapewnić wizualizację danych w wieloraki sposób, jak również wielu danych w jednakowy sposób, jeśli zajdzie taka potrzeba. Model powinien, zatem dopuszczać zmienny poziom abstrakcji zależnie od skali i aplikacji. W idealnej sytuacji ostateczny model danych ma umożliwiać wykonanie interpretacji zjawisk geograficznych w odniesieniu do wszystkich potrzeb aplikacji lub generalizacji. Reasumując model danych powinien:

- posiadać możliwość translacji na struktury logiczne tak, aby można było dokonywać na danych wielorakich interpretacji czy abstrahowania,
- umożliwiać różne poziomy abstrahowania odpowiednio do różnych wymagań związanych z generalizacją, jak np. wymogi aplikacji czy skali,
- umożliwiać generalizację i specjalizację obiektów wewnątrz hierarchii klasyfikacji oraz dostosowywać połączenia pomiędzy różnymi klasami obiektów, jak np. rzeki i jeziora,
- umożliwiać przetwarzanie danych graficznych i tematycznych w sposób niezależny lub w sposób zintegrowany zależnie od potrzeb, dla których wykonuje się mapę.

Dopóki jednak nasza wiedza o środowisku będzie niekompletna, to niemożliwym będzie, aby model danych był wyposażony w stosowną liczbę znaczeń, odpowiednio do pożądanego wykorzystania danych. Abstrakcje wymagane przez różne konteksty aplikacji, powinny w dużym stopniu opierać się na leżącym u podstaw

konceptyjnym modelu danych i wynikających z niego translacjach danych do projektu i struktur logicznych tego modelu.

Formułowanie modelu konceptyjnego powinno być poprzedzone przez analizy typów danych odpowiednio do potrzeb, do których będą stosowane. Przez to opracowanie modelu konceptyjnego powinno się zogniskować na strukturach danych i zdefiniowaniu związków pomiędzy elementami, niezbędnymi dla aplikacji. Proces ten powinien być niezależny od aktualnej fizycznej implementacji. Innymi słowy, konceptyjny model danych powinien być transformowany do modeli logicznych uwzględniających w obiektach przestrzennych, ich topologię, semantykę, hierarchię oraz uporządkowanie w klasach.

Do opisu konceptyjnego modelu danych niezbędny jest przegląd danych wraz z komentarzem na temat ich planowanego czy przewidywanego wykorzystania. Wybrane dane powinny spełniać wymogi odnośnie ich przetwarzania w kontekście aplikacji. Przy selekcji danych geometrycznych i tematycznych należy uwzględnić w przypadku danych typu:

- punktowego - opis tematyczny w postaci hierarchii klasyfikacji (np. superklasa, poziomy klas oraz poziomy obiektów),
- liniowego - opis tematyczny podobnie jak dla danych punktowych,
- powierzchniowego - opis tematyczny z uwzględnieniem łączenia wieloboków wewnątrz hierarchii klasyfikacji, jak również łączenia obiektów należących do różnych klas (np. jeziora i rzeki) oraz różnych typów obiektów (np. linie i powierzchnie).

Ponieważ nie istnieje jednoznaczna teoria w zakresie procesu generalizacji map (Brassel, Weibel, 1988) i proces ten jest w dużej mierze zależny od użytkownika i aplikacji, a co za tym idzie generalizacja przeprowadzona przez dwóch różnych kartografów zwykle dostarcza dwóch różnych rozwiązań, więc przy wykorzystaniu modelu danych będącego w koniunkcji z aplikacjami do generalizacji, jest ważne, aby wewnętrzna zmienność, którą można założyć w procesie generalizacji, została odzwierciedlona w podstawowej strukturze modelu danych. Ponieważ generalizacja przedsięwzięta jest zwykle w kontekście aplikacji lub w pewnej formie przestrzennego modelowania danych, niektóre wymagania odnośnie struktur danych, niezbędnych w przestrzennym modelowaniu, powinny być zachowane również w aplikacjach do generalizacji. Dlatego, w kontekście modelowania przestrzennego i odpowiadającej mu generalizacji, model powinien dopuszczać następujące aspekty:

- modelowanie elementów geometrycznych i tematycznych w sposób zintegrowany,
- modelowanie danych tematycznych z jednego poziomu pomiaru do innego jak np. transformowanie odległości lub podział w skali pomiarowej danych na porządkowe i nominalne,
- zdolność do geometrycznego transformowania różnych poziomów abstrakcji tematycznych na różne skale przedstawienia.

Pomimo braku teorii generalizacji, model danych powinien spełniać wymienione oczekiwania. Wymaga to działań takich, jak dekompozycja danych, identyfikacja encji i obiektów oraz ustalenia związków przestrzennych i tematycznych.

4. Baza Danych Topograficznych

4.1. Informacje wstępne

Wytyczne techniczne GUGIK BAZA DANYCH TOPOGRAFICZNYCH (TBD) w wersji 1 definiują termin Baza Danych Topograficznych (skrót TBD) jako urzędową nazwę spójnego pojęciowo w skali kraju systemu gromadzenia, zarządzania i udostępniania danych topograficznych funkcjonującego w oparciu o właściwe przepisy prawne. Określenie to obejmuje zarówno zasób danych, system informatyczny zarządzania danymi jak i odpowiedni system finansowania i organizacji. W związku z tym Bazę Danych Topograficznych można rozumieć jako jednolity w zakresie modelu pojęciowego, urzędowy, ogólnokrajowy system gromadzenia i udostępniania danych topograficznych, na który poza danymi składa się odpowiedni system finansowania, organizacja, narzędzia informatyczne oraz niezbędne wytyczne i instrukcje techniczne.

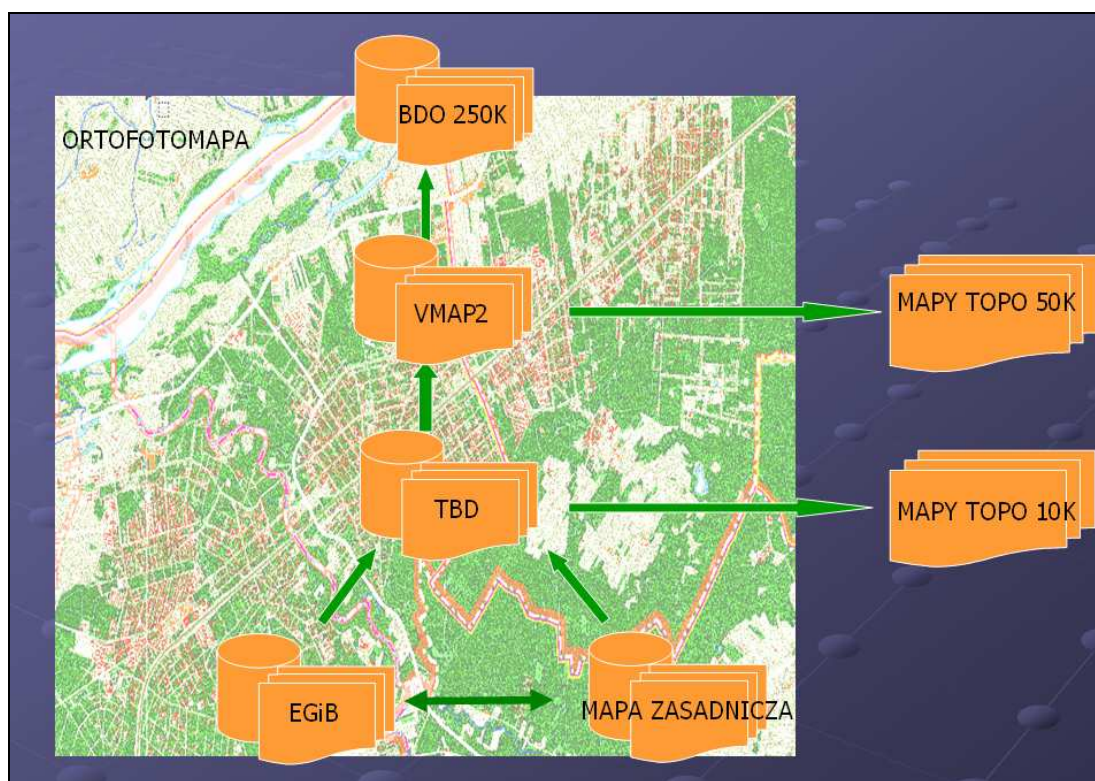
TBD ma stanowić jeden z istotnych elementów szeroko rozumianego Krajowego Systemu Informacji Geograficznej (KSIG). Oprócz Bazy Danych Topograficznych produktami w oparciu, o które mają być realizowane bazy danych KSIG są:

- Ogólnogeograficzna Baza Danych w skali 1:250000,
- Baza Danych VMAPL2,
- ortofotomapy ze zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych,
- ewidencja gruntów i budynków,
- mapa zasadnicza.

Przepływ danych pomiędzy poszczególnymi opracowaniami przedstawia rysunek 14.

TBD ma za zadanie spełniać funkcję zasilania aktualnymi, wysokiej jakości danymi topograficznymi specjalistycznych urzędowych systemów informacji przestrzennej (budowanych przez administrację, samorządy, instytucje publiczne np. systemy wspomagania służb ratowniczych, osłony przeciwpowodziowej, planowania przestrzennego, ochrony środowiska, zarządzania siecią drogową itd.). Realizacja Bazy Danych Topograficznych ma na celu m.in. uniknięcie wielokrotnego pozyskiwania i aktualizacji tych samych danych przez wielu użytkowników. Celem jej budowy jest również zapewnienie zasilania aktualnymi danymi topograficznymi systemów produkcji map, przede wszystkim topograficznych, ale również

tematycznych. Dane zgromadzone w TBD mogą być także wykorzystywane w systemach budowanych w sektorze prywatnym.



Rys. 14. Przepływ danych pomiędzy wektorowymi bazami danych (Albin, 2003)

Zakres informacyjny Bazy Danych Topograficznych ma obejmować następujące działy problemowe (Wytyczne techniczne TBD, 2003):

- osnowa geodezyjna, fotogrametryczna i kartograficzna,
- ortofotomapy,
- model rzeźby terenu,
- „rejestr” obiektów i wydzielen terenowych,
- mapy cyfrowe,
- wykaz nazw geograficznych,
- umowne podziały terenu,
- metadane.

Te wyszczególnione działy problemowe obejmują zasób danych TBD, który składa się z dwóch wyraźnych składowych (Wytyczne techniczne TBD, 2003):

1. Zasób podstawowy – część zasobu danych TBD zorganizowana i zapisana zgodnie z ogólnie przyjętymi standardami dotyczącymi budowy baz danych przestrzennych (technologia GIS), zawierająca dane pomiarowe, nieznieskształcone w wyniku zabiegów redakcyjnych związanych z prezentacjami kartograficznymi, obciążone jedynie generalizacją pierwotną danych wynikającą z metod pomiaru i przyjętego modelu pojęciowego.

Zasób podstawowy danych TBD stanowią trzy główne bazy składowe:

- "ciągła" przestrzennie, wektorowa baza danych topograficznych tworzona w oparciu o technologię GIS (komponent TOPO),
- zapisana w podziale arkuszowym (pojedyncze arkusze lub zespoły arkuszy) baza numerycznego modelu rzeźby terenu (komponent NMT),
- zapisana w podziale arkuszowym (pojedyncze arkusze) baza ortofotomap (komponent ORTOFOTO).

2. Zasób kartograficzny – część zasobu danych TBD zorganizowana zgodnie z kartograficznym modelem danych, będąca wynikiem przekształceń zasobu podstawowego, służąca opracowaniu wysokiej jakości prezentacji kartograficznych zarówno w ramach TBD jak i w zewnętrznych systemach produkcji map. Utworzenie cyfrowego zasobu kartograficznego (map cyfrowych) ma na celu m.in. umożliwienie udostępnienia danych topograficznych w formie cyfrowej do systemów produkcji map specjalistycznych np. sozologicznych, geologicznych jak również zewnętrznych w stosunku do TBD systemów produkcji map (w tym topograficznych).

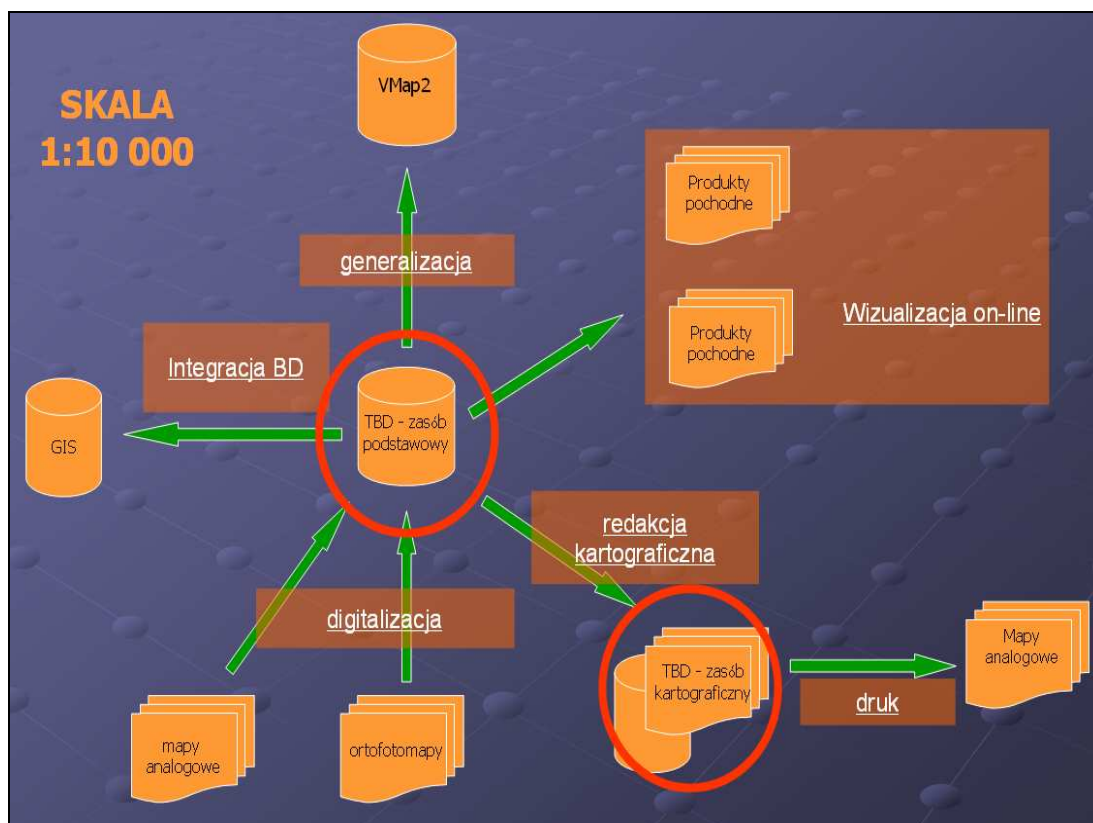
W budowie TBD widać wyraźne zaadoptowanie, opracowanej na początku lat 90-tych ubiegłego stulecia idei rozdzielnia baz danych przestrzennych od opracowań kartograficznych (Gruenreich, 1990). Polega ona na zastąpieniu mapy topograficznej w postaci cyfrowej przez dwa produkty:

- DLM (Digital Landscape Model)) – cyfrowy model krajobrazu – którego celem jest wierne odtworzenie rzeczywistości. Stanowi on podstawę do budowy GIS,
- DCM (Digital Cartographic Model) – cyfrowy model kartograficzny – którego celem jest przygotowanie mapy topograficznej do druku.

Baza zgodna z modelem DLM ma za zadanie jak najwierniejsze przedstawienie obiektów terenowych bez uwzględniania ich czytelności w procesie wizualizacji. Istotna jest wiarygodność danych i łatwość operowania na nich podczas

wykonywania analiz przestrzennych. Natomiast baza zgodna z modelem DCM zawiera dane poddane procesowi redakcji kartograficznej, który umożliwia właściwe wygenerowanie obrazu terenu w postaci mapy.

W przypadku TBD DLM tworzy zasób podstawowy, a DCM zasób kartograficzny, co zostało przedstawione na rysunku 15.



Rys. 15. Rozdzielenie baz danych przestrzennych od opracowań kartograficznych (Albin, 2003)

Obecnie, za najbardziej dokładny poziom informacyjny TBD przyjmuje się ten zbliżony do poziomu informacyjnego map topograficznych w skali 1:10000. Nie wyklucza to możliwości wprowadzania wybranych danych z opracowań wielkoskalowych. Odpowiednia konstrukcja struktury bazy danych i systematyki obiektów umożliwia pokrycie terytorium kraju danymi topograficznymi o precyzji i szczegółowości zależnej od potrzeb (charakterystyki danego terenu) i możliwości gestorów TBD.

Za podstawowe źródło pozyskiwania danych geometrycznych uznaje się ortofotomapę cyfrową, wywiad terenowy oraz dane z baz danych opracowań wielkoskalowych (mapa zasadnicza, mapy ewidencyjne). Jako źródło pomocnicze

uznaje się istniejące arkusze mapy topograficznej 1:10000, wtórniki diapoztywów wydawniczych i materiały źródłowe ich opracowania (np. zbiory mapy cyfrowej 1:10000 w tzw. wersji "szkieletowej", kalki pikiet wysokościowych, kalki nazw itp.).

4.2. Wektorowa baza danych topograficznych – ogólne założenia dla modelu pojęciowego

Zgodnie z Wytycznymi technicznymi TBD (2003) wektorowa baza danych topograficznych (jedna z głównych baz składowych zasobu podstawowego danych TBD) jest podstawą do współdziałania Bazy Danych Topograficznych z różnymi systemami informacji przestrzennej. Jest ona zarządzana i organizowana przy użyciu technologii GIS pozwalającej na efektywne wyszukiwanie i analizę danych oraz indywidualną, bądź łączną prezentację kartograficzną numerycznego modelu rzeźby terenu, ortofotomapy cyfrowej i danych wektorowych. Baza ta jest „ciągłą” w sensie zasięgu przestrzennego bazą danych - nie występuje podział arkuszowy danych – podziały przestrzenne wynikają jedynie z rozwiązań organizacyjnych TBD (np. podział kompetencji tworzenia i zarządzania TBD na województwa). Na obecnym etapie, za najbardziej dokładny poziom informacyjny tej bazy przyjmuje się poziom zbliżony do poziomu informacyjnego cywilnych map topograficznych w skali 1:10000. Jej konstrukcja oparta została o *wektorowy model danych* typowy dla narzędzi GIS, w którym własności geometryczne obiektów zapisywane są przy pomocy odpowiednio uporządkowanych i powiązanych współrzędnych. W modelowaniu danych zastosowano podstawowe pojęcia zawarte w Ogólnej Specyfikacji Konsorcjum OpenGIS (*The OpenGISTM Abstrakt Specification*). Wykorzystano model „Prostych obiektów” tzn. obiektów o własnościach geometrycznych ograniczonych do „prostych” elementów geometrycznych (punkt, linia łamana, wielobok), dla których współrzędne definiowane są w dwóch wymiarach, a opis krzywej poddawany jest liniowej interpolacji. Model „Prostych obiektów” stanowi uproszczenie bardziej ogólnego modelu opisanego w powyższej specyfikacji jednak został uznany za wystarczający z punktu widzenia TBD.

Budowa modelu Bazy Danych Topograficznych wymagała odmiennego niż dla potrzeb produkcji map topograficznych usystematyzowania i sklasyfikowania obiektów topograficznych (wybór klas obiektów i sposób ich reprezentacji w bazie), wynikającego z analizy pojęć dotyczących opisywanego fragmentu rzeczywistości

i mającego na uwadze przede wszystkim efektywność realizacji zapytań i analiz w bazie danych. Czysto graficzne względy, a więc obrazowy aspekt modelu miały dla konstrukcji struktury bazy danych przestrzennych ważne, aczkolwiek drugorzędne znaczenie. Model pojęciowy został skonstruowany tak, aby umożliwić:

- wyczerpujący opis terenu ze szczegółowością zbliżoną do opisu dostarczanego przez mapę topograficzną w skali 1:10000,
- przedstawienie terenu na różnych poziomach uogólnienia i zapewnienie możliwości integracji danych właściwych różnym poziomom uogólnienia. Dzięki współlistnieniu klas obiektów właściwych różnym poziomom uogólnienia stosowanym w tradycyjnych opracowaniach kartograficznych (np. mapach topograficznych 1:10000 i 1:50000 – klasa „Budynki” właściwa dla poziomu szczegółowości mapy topograficznej w skali 1:10000 i klasa „Tereny zabudowy” o charakterystyce właściwej poziomowi szczegółowości mapy topograficznej w skali 1: 50000) możliwe będzie zrezygnowanie na wybranych obszarach z wprowadzania niektórych obiektów. Wybór tych obiektów może być uzależniony od konkretnego zapotrzebowania użytkownika na dane w określonym terenie. Posiadanie w pełni szczegółowej bazy danych pozwala na udostępnianie użytkownikom danych uogólnionych, a także ułatwia prezentacje kartograficzne danych (przykładowo uogólnione przedstawienie danych w postaci klasy „Teren leśny lub zadrzewiony” na jednym obszarze, a na sąsiednim wydzielenie szczegółowe w postaci klas „Las”, „Zagajnik” itp. - klasy na odpowiednich poziomach klasyfikacji: 1,2 lub 3),
- łatwą rozbudowę bazy podstawowej do baz specjalistycznych (tematycznych),
- opracowywanie map topograficznych w skali 1:10000 i docelowo 1:50000 oraz prezentacji tematycznych,
- wykorzystanie danych z systemów informacji o terenie (baz podstawowych),
- współlistnienie danych o różnej dokładności geometrycznej.

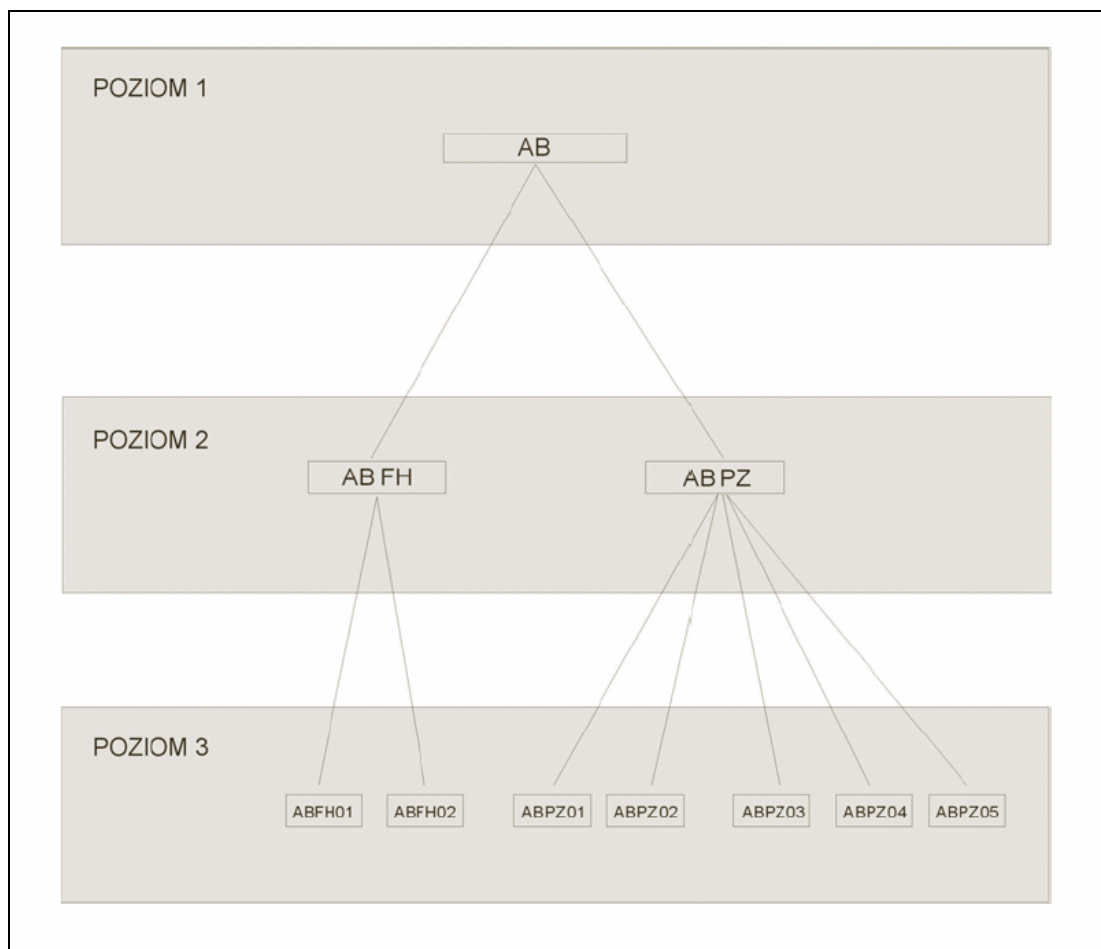
Konstrukcja modelu została w dużym stopniu oderwana od problemu skali i połączyła elementy opisu przestrzeni, które są właściwe np. mapie topograficznej w skali 1:10000 i 1:50000. Teoretycznie nieograniczona pojemność bazy danych umożliwiła wprowadzenie niektórych obiektów dotychczas nieprzedstawianych na mapach topograficznych np. grunty orne, z drugiej jednak strony szereg obiektów wyróżnianych na mapach topograficznych, nie został umieszczony bezpośrednio

w bazie danych, lecz jest uzyskiwany na drodze analiz przestrzennych jako pochodne innych klas obiektów np. cmentarz zadrzewiony jako pochodna terenu zadrzewionego i cmentarza.

Podstawy modelu pojęciowego wektorowej bazy danych TBD określone zostały przez przyjętą klasyfikację obiektów i ich definicje. Model ten obejmuje większość obiektów przedstawianych na mapach topograficznych, czyli w najbardziej ogólnym podejściu są to kategorie tematyczne: hydrografia, drogi, koleje, uzbrojenie terenu, roślinność, zabudowa, granice, rzeźba terenu. Właściwy dobór klas obiektów na etapie projektowania systemu (to, jakie klasy obiektów zostaną utworzone dla określonego modelu rzeczywistości) był istotny, nie tylko dla zachowania niezbędnego zakresu informacyjnego projektowanego systemu, ale także ze względu na wpływ na efektywność zarządzania danymi, w tym w szczególności na wykonywanie zapytań do bazy danych i przeprowadzanie analiz przestrzennych. Wyróżnione zostały następujące superklasy na najwyższym poziomie klasyfikacyjnym:

- sieci cieków (SW),
- sieci dróg i kolei (SK),
- sieci uzbrojenia terenu (SU),
- kompleksy pokrycia terenu (PK),
- budowle i urządzenia (BB),
- kompleksy użytkowania terenu (KU),
- obiekty inne (OI),
- tereny chronione (TC),
- jednostki podziału terytorialnego (AD),
- osnowa geodezyjna i fotogrametryczna (OG),
- elementy rzeźby terenu (RZ).

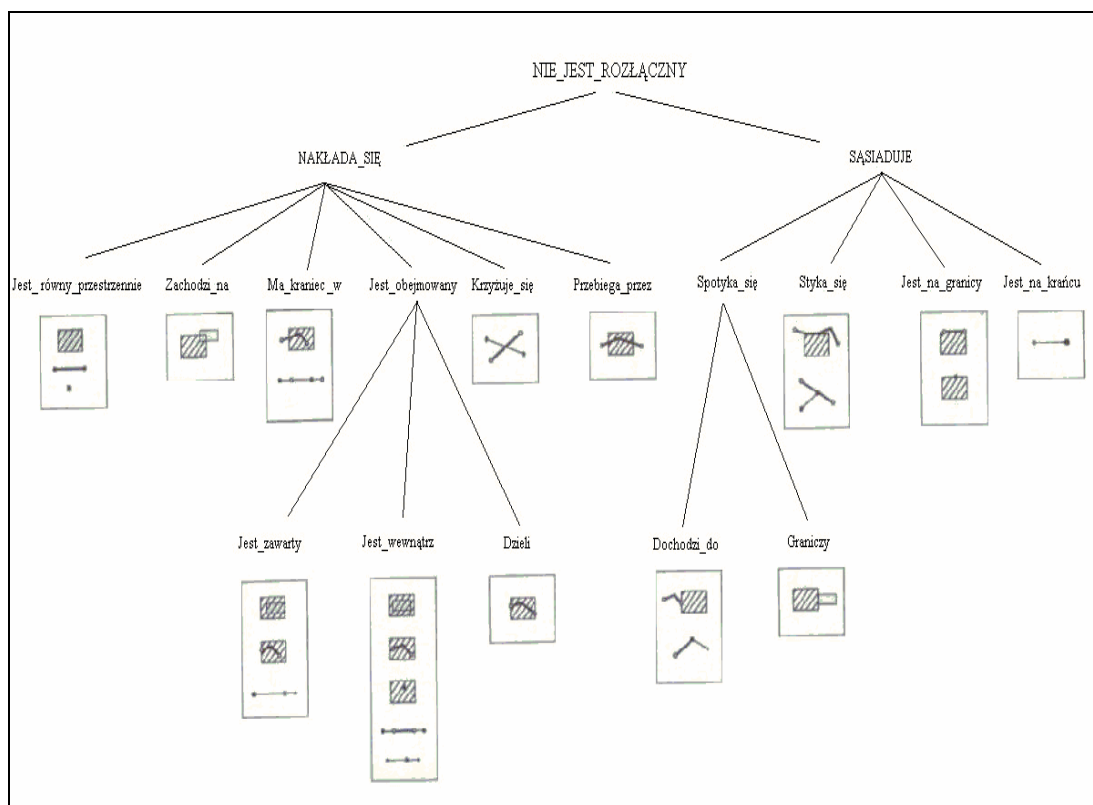
Z powyższą klasyfikacją związany jest system kodowania (Rys. 16), mający na celu zapewnienie jednoznacznej wymiany danych między systemami oraz pozwalający na wprowadzenie i zarządzanie w jednej bazie danych obiektami na różnych poziomach uogólnienia oraz łatwą agregację danych.



Rys. 16. System oznaczeń kodowych obiektów (Wytyczne techniczne TBD, 2003)

Dla poszczególnych klas obiektów bazy danych przestrzennych został również ustalony sposób ich reprezentacji graficznej przez przypisanie poszczególnym klasom odpowiednich typów danych przestrzennych (klasy punktowe, liniowe i powierzchniowe). Określone zostały także atrybuty obligatoryjne, pozwalające na opis obiektów nieznacznie rozszerzony od zakresu informacji uzyskiwanego z map topograficznych. Możliwość przechowywania uszczegółowionych danych w formie atrybutu obiektu właściwa dla baz danych, pozwoliła na zmniejszenie liczby wyróżnianych klas obiektów w stosunku do mapy topograficznej np. na mapie topograficznej jako oddzielne elementy legendy są wyszczególniane linie kolejowe jednotorowe i wielotorowe, zelektryfikowane i nieelektryfikowane, linie w budowie i nieczynne, a w bazie danych wyróżniona jest jedna klasa – „Zespół torów kolejowych” o atrybutach: liczba torów, elektryfikacja, stan. Wyróżniono również atrybuty fakultatywne w celu ułatwienia użytkownikom prac związanych z rozszerzeniem bazy danych.

Ostatni aspekt modelowania danych topograficznych to konieczność odzwierciedlenia relacji przestrzennych zachodzących między obiektami. W tym celu należało przyjąć określony model relacji przestrzennych. Na rysunku 17 został pokazany zbiór elementarnych relacji przestrzennych wykorzystany przy modelowaniu danych topograficznych (Gotlib, 2001)



Rys.17. Zbiór elementarnych relacji przestrzennych wykorzystany przy modelowaniu danych topograficznych (Gotlib 2001)

Zdefiniowana struktura danych przyjmowanych do zasobu TBD jest zgodna z relacyjnym modelem danych. Jako podstawowa technologia tworzenia TBD została zalecona w Wytycznych technicznych TBD (2003) nowoczesna technologia SIP oparta o relacyjno-obiektowe systemy zarządzania bazami danych.

4.3. Kierunek rozwoju Bazy Danych Topograficznych – baza danych wielorozdzielczych (MRDB)

Dotychczas w procesie tworzenia baz danych przestrzennych najczęściej przyjmowano ich dokładność jako odpowiadającą szczegółowości mapy

topograficznej w zadanej skali. W związku z tym wybór poziomu skalowego definiował zakres treści i dokładność położenia obiektów oraz znacząco wpływał na czas i koszty przeprowadzanego procesu. Obraz rzeczywistości uzyskiwany na podstawie tak skonstruowanej bazy danych był tak samo szczegółowy i dokładny w każdym opracowywanym obszarze. O ile w przypadku opracowywania mapy było to konieczne o tyle z punktu widzenia tworzenia baz danych nie istnieją bariery wymuszające takie postępowanie. Zwrócono, więc uwagę na możliwość tworzenia baz danych pozwalających na gromadzenie danych o jednym poziomie dokładności geometrycznej, ale o różnych poziomach szczegółowości i różnych poziomach uogólnienia (w sensie pojęciowym) w różnych częściach kraju. Umożliwiłoby to przechowywanie na tym samym obszarze różnych reprezentacji geometrycznych obiektów dla różnych potrzeb i opracowań przy zachowaniu nie redundantnej struktury obiektów. Prowadziłoby to do prezentacji treści zmieniającej się w różnych fragmentach terenu w zależności od opracowywanego obszaru, potrzeb odbiorców oraz przesłanek organizacyjno-ekonomicznych np. dostępności do aktualnych materiałów źródłowych. Dodatkowo umożliwiłoby to, w etapie przejściowym, na szybkie wypełnienie bazy danymi o mniejszej szczegółowości niż docelowa do czasu kompletnego pokrycia danymi całego terytorium kraju.

Podejście oparte na założeniu tworzenia jednej źródłowej bazy danych topograficznych o kilku poziomach uogólnienia jest zbieżne z innymi tendencjami i badaniami światowymi prowadzonymi w zakresie budowy baz MRDB¹⁰. Przechodzenie na tego typu bazy jest tendencją światową i ma znaczący wpływ na sposób organizacji procesu generalizacji danych. Tworzenie takich baz danych wymaga opracowania specjalnego modelu danych, a następnie odpowiednich metod analiz i dostępu do danych, w tym metod wizualizacji. Przy konstruowaniu baz danych typu MRDB istotnym zagadnieniem jest utworzenie powiązań pomiędzy obiektami na różnych poziomach uogólnienia. Istnieje kilka metod wzajemnej identyfikacji obiektów na różnych poziomach bazy MRDB (Gotlib, Olszewski, 2005):

¹⁰ MRDB (multiresolution/multirepresentation data base) – (wielorozdzielcza/wieloreprezentacyjna baza danych) baza danych przestrzennych umożliwiająca przechowywanie reprezentacji tych samych obiektów geograficznych na różnym poziomie uogólnienia (Gotlib, Olszewski, 2005)

- wariant atrybutowy zakłada, że wszystkie obiekty przechowywane są w jednym zbiorze danych, różnicowanie poziomu uogólnienia (Level of Details – LoD) realizowane jest przez określenie specyficznych, właściwych dla danego poziomu atrybutów geometrycznych i opisowych,
- wariant z dołu do góry (bottom-up) zakłada istnienie dwóch lub więcej zbiorów danych połączonych z atrybutem określającym LoD na danym poziomie uogólnienia,
- wariant z góry na dół (top-down) umożliwia budowanie połączeń od obiektu uogólnionego do elementów źródłowych.

4.3.1. Koncepcje opracowania bazy danych topograficznych jako bazy typu MRDB

Poniżej zostaną omówione cztery koncepcje opracowania bazy danych topograficznych jako bazy typu MRDB i podejścia do procesu generalizacji (Gotlib, Olszewski, 2005). Kolejność ich omawiania odpowiada przybliżaniu się do koncepcji bazy danych typu MRDB – od koncepcji najbardziej odbiegającej do koncepcji zgodnej z tym podejściem.

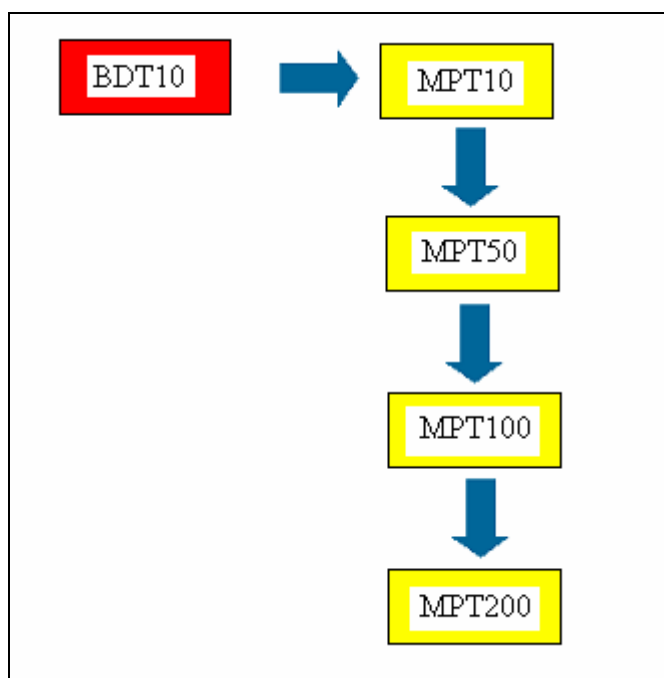
Zostaną zastosowane następujące skróty:

- BDT – bazy danych topograficznych, odpowiadające różnym poziomom dokładności i szczegółowości np. BDT10 - baza danych odpowiadająca szczegółowości mapy topograficznej w skali 1:10000,
- MTP – mapy topograficzne w różnych skalach np. MTP10 - mapa topograficzna w skali 1:10000.

4.3.1.1 Klasyczna

Koncepcja klasyczna opracowania bazy danych topograficznych (Rys. 18) zakłada tworzenie bazy danych topograficznych o poziomie szczegółowości opisu terenu odpowiadającemu mapie topograficznej w skali 1:10000, a następnie z niej w procesie redakcji kartograficznej byłaby opracowywana mapa topograficzna w skali 1:10000. Mapy topograficzne w mniejszych skalach byłyby uzyskiwane w wyniku przeprowadzenia procesu generalizacji pojęciowej i graficznej oraz dalszej

redakcji. W tym podejściu byłby generalizowany tylko obraz, nie zaś model bazy danych.



Rys. 18. Koncepcja klasyczna

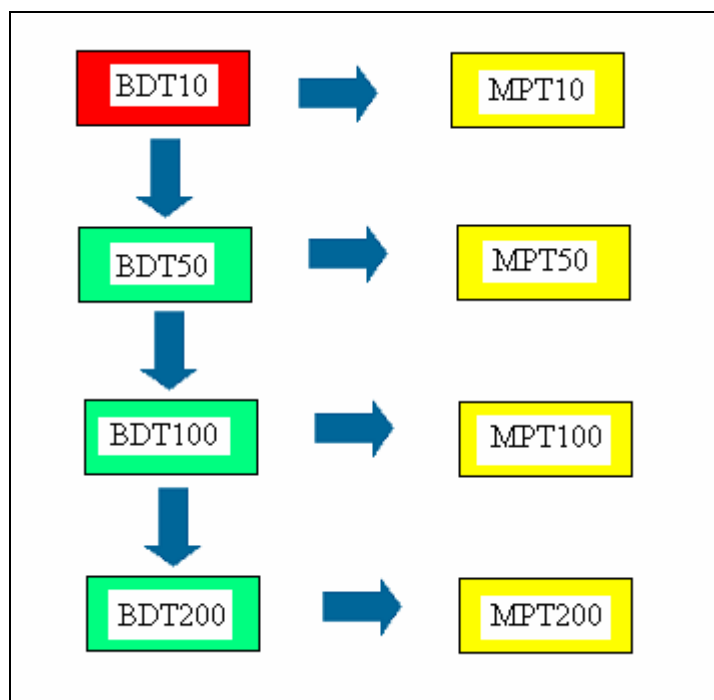
4.3.1.2 Bazy pochodne

Koncepcja baz pochodnych (Rys. 19) opiera się na założeniu, że byłyby tworzone oddzielne bazy danych topograficznych o poziomie szczegółowości opisu terenu odpowiadającemu mapom topograficznym w całym szeregu skalowym (1:10000 - 1:200000). Wyjściową bazą danych byłaby BDT10, a kolejne bazy tworzone byłyby w procesie generalizacji pojęciowej. Mapy topograficzne byłyby opracowywane w procesie generalizacji graficznej i w procesie redakcji z baz danych o odpowiadającym im poziomie skalowym.

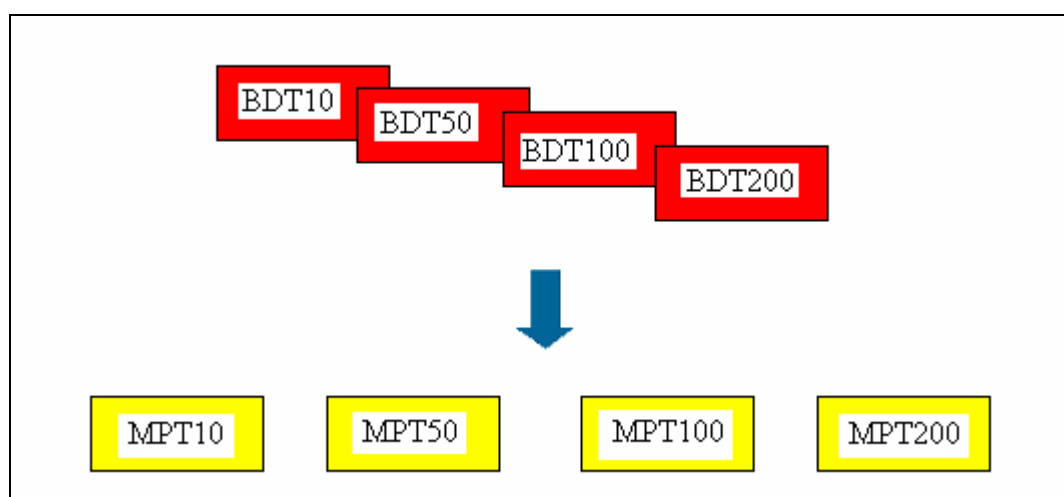
4.3.1.3 Baza wieloskalowa

Koncepcja bazy wieloskalowej (Rys. 20) jest koncepcją zbliżoną do koncepcji budowy baz typu MRDB. Zakłada ona, że tworzona byłaby baza danych topograficznych umożliwiającą przechowywanie reprezentacji obiektów terenowych na różnym poziomie generalizacji (np. o różnej dokładności geometrycznej

i rozdzielczości przestrzennej) w jednej w sensie logicznego wydzielenia bazy danych. Fizycznie mogłoby to być kilka spójnych baz danych przechowujących wzajemne powiązania między obiektami przedstawianymi na różnych poziomach generalizacji. Baza ta umożliwiałaby generowanie map topograficznych w całym szeregu skalowym.



Rys. 19. Koncepcja baz pochodnych



Rys. 20. Koncepcja bazy wieloskalowej

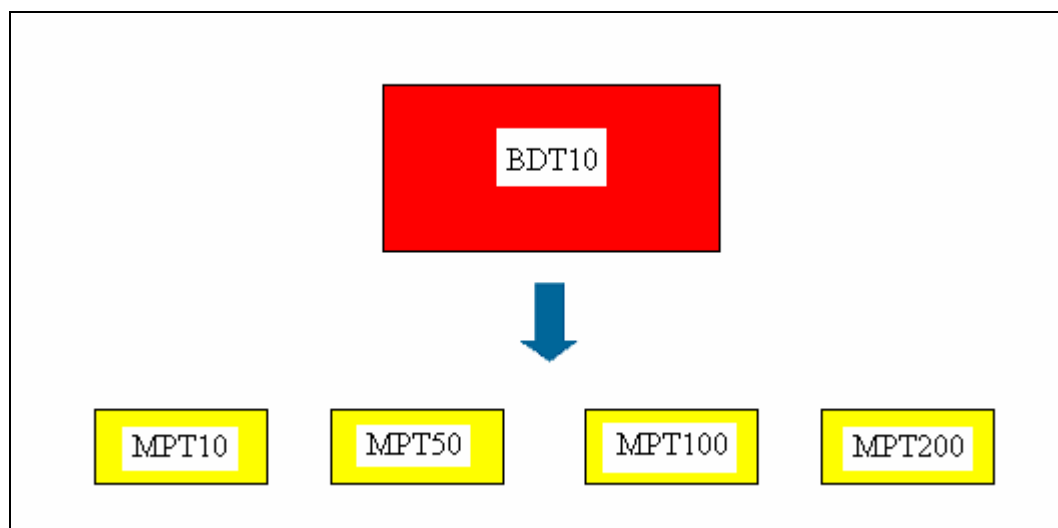
4.3.1.4 Źródłowa baza danych

Koncepcja źródłowej bazy danych (Rys. 21) to podejście będące zgodne z koncepcją bazy danych typu MRDB, którego cechą charakterystyczną jest przechowywanie danych właściwych różnym poziomom skalowym w jednej bazie danych na jednym poziomie dokładności. W związku z tym baza ta zawierałaby wszystkie klasy obiektów niezbędne do opracowywania map w całym szeregu skalowym. W podejściu tym zakłada się, że tworzona byłaby jedna źródłowa baza danych dla całego obszaru opracowania. Cechy charakterystyczne tej bazy to:

- jednakowy poziom dokładności położenia dla wszystkich obiektów przechowywanych w bazie,
- poziom informacyjny obejmujący wszystkie obiekty uwidocznione w bazach i mapach topograficznych w całym szeregu skalowym.

Mapy topograficzne w całym szeregu skalowym byłyby tworzone z bazy źródłowej przy zastosowaniu generalizacji kształtu, położenia, eliminacji obiektów według kryteriów rozpoznawalności rysunku oraz prac redakcyjnych np. ustawiania napisów.

Koncepcja ta zakłada opracowanie jednorodnej z punktu widzenia modelu pojęciowego bazy danych topograficznych, a co za tym idzie rozdzielenie generalizacji pojęciowej od graficznej.



Rys. 21. Koncepcja źródłowej bazy danych

5. Trójwarstwowa architektura systemu zarządzania Bazą Danych Topograficznych umożliwiającego generowanie map w dowolnej skali

W Polsce w ciągu ostatnich lat sporządzano różne urzędowe systemy gromadzące dane georeferencyjne i przetwarzające te dane do postaci map cyfrowych. Przykładowo są to:

- Baza Danych Ogólnogeograficznych (BDO) – dokładność danych odpowiadająca mapie topograficznej w skali 1:250000,
- VMapL2 - dokładność danych odpowiadająca mapie topograficznej w skali 1:50000,
- Baza Danych Topograficznych (TBD) - dokładność danych odpowiadająca mapie topograficznej w skali 1:10000.

Te produkty to oddzielne opracowania danych georeferencyjnych na różnych poziomach dokładnościowych, współdziałające ze sobą w niewielkim zakresie. Z założenia bazy tych systemów opracowywano na podstawie różnych źródeł danych w różnym czasie i w odmiennych uwarunkowaniach organizacyjno-technologicznych. Jednocześnie przewidziane były one do zastosowań dla różnych grup użytkowników.

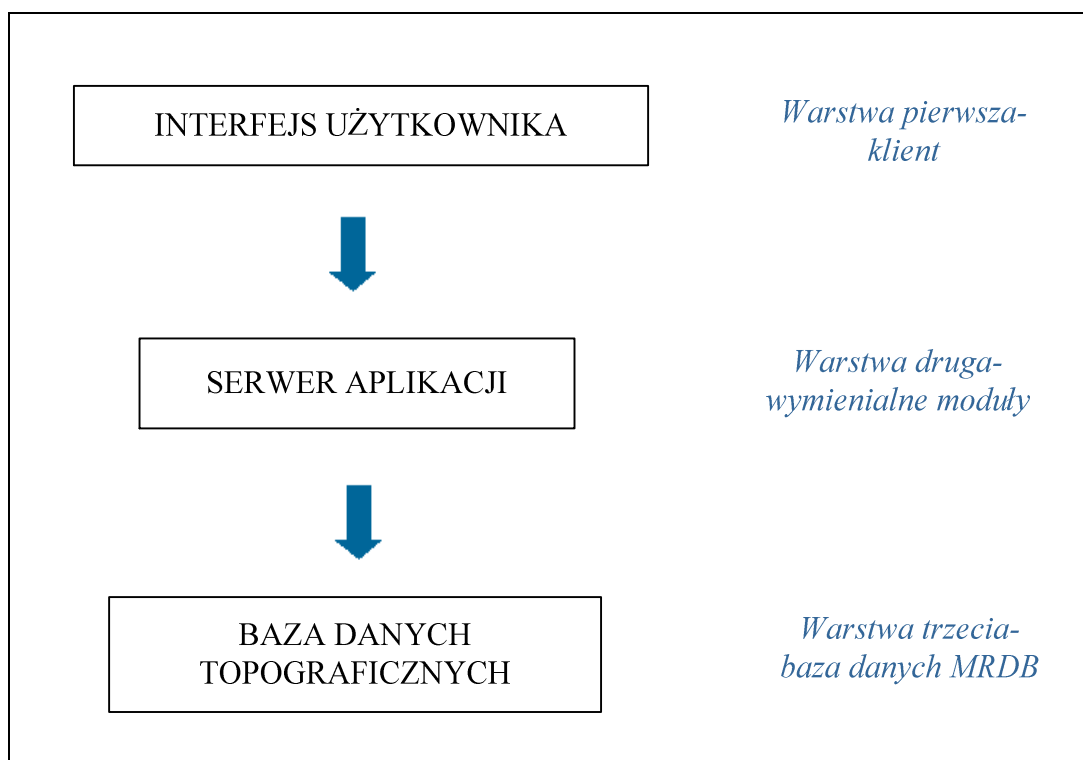
Obecnie podjęta została szeroko dyskusja, co do infrastruktury danych przestrzennych w Polsce. Ponadto zwrócono uwagę na konieczność jak najszybszego opracowania procedur pozwalających na prowadzenie spójnego i kompletnego w skali kraju zbioru danych georeferencyjnych. W tym kontekście wymienione powyżej bazy danych uznano jako na bazy georeferencyjne, które powinny współpracować w możliwie szerokim zakresie i stanowić podstawę dla różnorodnych opracowań specjalistycznych (tematycznych). W pierwszej kolejności wydało się celowe zapewnienie spójności danych w zakresie TBD i VMapL2, co nie tylko pozwoliłoby na uniknięcie podwójnego gromadzenia danych i podwójnych kosztów, ale i otwierałoby nowe możliwości w zakresie wykorzystania danych i zgodności ze światowymi trendami w budowaniu wieloreprezentacyjnych baz danych przestrzennych (MRDB) (tematyka ta jest szeroko omówiona min. Gotlib, Olszewski, Iwaniak (2005,2006), Bac-Bronowicz (2006)). Utworzenie bazy tego typu (MRDB) będzie wywoływało w konsekwencji konieczność weryfikacji i wyboru

metod wizualizacji danych, ponieważ dla obszaru, dla którego użytkownik będzie chciał uzyskać mapę w określonej skali będą dostępne dane mogące różnić się w poszczególnych fragmentach zarówno, co do stopnia ich szczegółowości jak i dokładności. W związku z tym dla prowadzenia procesu automatycznej generalizacji i wizualizacji danych konieczne stanie się sklasyfikowanie obiektów i ustalenie hierarchii klas i obiektów.

W dalszej części pracy zostaje zaproponowany system zarządzania Bazą Danych Topograficznych zgodny z ideą przedstawioną powyżej, pozwalający na tworzenie z jednej bazy referencyjnej map topograficznych w dowolnej skali.

5.1. System zarządzania bazą danych topograficznych

Aby można było generować cyfrowe mapy topograficzne w dowolnych skalach, należy utworzyć system zarządzania Bazą Danych Topograficznych zgodny z trójwarstwową architekturą przedstawioną na rysunku 22.



Rys. 22. Trójwarstwowa architektura systemu zarządzania bazą danych topograficznych

Pierwsza warstwa tego systemu to klient i związany z nim interfejs użytkownika, umożliwiający dokonanie wyboru: danych tematycznych, obszaru opracowania i skali wykonywanej mapy. Interfejs ten ma także umożliwić dostęp użytkownika do serwera aplikacji w celu wyboru algorytmów i reguł geometrycznych, które zostaną wykorzystane w procesie tworzenia mapy.

Druga warstwa to serwer aplikacji zawierający moduły dotyczące reguł geometrycznych i algorytmów służących do:

- tworzenia, klasyfikacji i eliminacji regionów drogowych,
- eliminacji i upraszczania obiektów,
- scalania obiektów,
- eliminacji konfliktów,
- wyznaczania metod wizualizacji obiektów.

Trzecia warstwa to Baza Danych Topograficznych zmodyfikowana do postaci źródłowej bazy danych – bazy typu MRDB. W bazie tej muszą zostać uwzględnione elementy podstawowe, od których zależy poprawność procesu automatycznej generalizacji, czyli topologia i klasyfikacja obiektów (opisująca rzeczywistość geograficzną i uwzględniająca hierarchię klas i klasyfikację obiektów). Ponadto musi zostać uwzględniona możliwość stosowania w procesie generalizacji reguł i algorytmów z serwera aplikacji (warstwa druga).

5.2. Ogólne warunki dla struktury bazy danych topograficznych

5.2.1. Klasyfikacja obiektów i hierarchia klas

Istotą klasyfikacji (Bielecka, 2006) jest porządkowanie elementów środowiska geograficznego zarówno w celu poznawczym jak i praktycznym, umożliwiającym racjonalne i zrównoważone gospodarowanie przestrzenią. Klasyfikacja, jako abstrakcyjna reprezentacja rzeczywistości, pozwala na dzielenie interesującego nas obrazu świata rzeczywistego na klasy, z których każda nosi kod identyfikujący i opisujący jej charakter. Klasyfikacja przydziela obiekty do klas, bazując na cechach ilościowych tych obiektów wyrażanych wartościami atrybutów. Podział na klasy musi być wyczerpujący i rozłączny, a ich granice zdefiniowane w sposób wyraźny, precyzyjny i o ile to możliwy dla cech ilościowych – liczbowy. System klasyfikacji

powinien być niezależny od źródeł danych i skali mapy, czyli kryteria klasyfikacyjne muszą umożliwiać wyznaczenie klas na każdym poziomie systemu, bez względu na skalę opracowania. Dzięki temu system klasyfikacji będzie mógł być wykorzystywany przez wielu użytkowników i w różnych aplikacjach oraz będzie ułatwiał współdziałanie z odmiennymi systemami klasyfikacji.

W większości aplikacji obiekty terenowe grupowane są w kilka oddzielnych klas, do których dołączana jest lista atrybutów. Obiekty przestrzeni geograficznej w środowisku systemu są interpretowane za pomocą opisu tematycznego i geometrycznego. Przyjmijmy, że C_i jest klasą, a listą jej atrybutów jest $LIST(C_i) = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, wtedy:

$$LIST(C_i) \neq LIST(C_j) \text{ dla } i \neq j \quad (8)$$

tzn. listy atrybutów będą różne dla różnych klas. Obiekty terenowe dziedziczą strukturę atrybutów swojej klasy. Oznacza to, że obiekt O_l posiada listę uwzględniającą wartość każdego atrybutu klasy C :

$$LIST(O_l) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (9)$$

gdzie: $a_m = A_m(O_l)$ jest wartością A_m dla obiektu O_l ,

$$O_l \in C,$$

$$A_m \in LIST C.$$

Gdy dwie lub więcej klas posiada wspólne atrybuty, wówczas zdefiniowana zostaje superklasa za pomocą listy zawierającej wspólne atrybuty, tzn. „atrybuty superklasy” (Molenaar 1993). Klasy początkowe zostają podporządkowane superklasom, np. klasa „Jezdnie o nawierzchni twardej” jest superklasą obejmującą podklasy, takie jak: „Autostrady”, „Drogi lub ulice ekspresowe”,.... Ostatecznie obiekty terenowe przypisywane są tym klasom. Na każdym poziomie hierarchii klasyfikacji klasy otrzymują strukturę atrybutów ich nadklasy z wyższego poziomu, która jest propagowana na kolejny niższy poziom. Na najniższym poziomie hierarchii znajdują się obiekty terenowe i na ten poziom nie jest przekazywana struktura atrybutów, lecz są one jedynie oceniane.

W tym przypadku dla O_l znajdujemy:

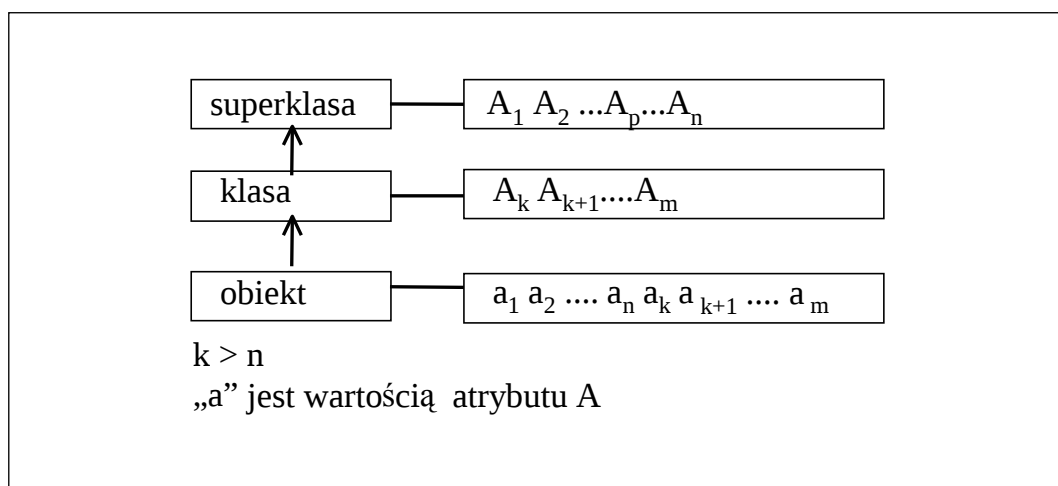
$$LIST(O_l) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (10)$$

gdzie: $a_m = A_m(O_l)$ jest wartością A_m ,

$$A_m \in LIST C \cup LIST(SC) \cup \dots,$$

stąd A_m jest atrybutem klasy lub nadklasy C_i .

Jeżeli klasy na każdym poziomie są rozłączne w taki sposób, że hierarchia posiada strukturę drzewa, obiekty przestrzeni geograficznej otrzymują strukturę atrybutów jedynie przez „linię dziedziczenia” w hierarchii, tzn. posiadają szczególny opis atrybutów jakościowych (Rys. 23).



Rys. 23. Relacje hierarchiczne między obiektami, klasami i ich atrybutami

Obiekty terenowe występujące na najniższym poziomie w hierarchii klasyfikacji są postrzegane jako obiekty elementarne klasyfikacji reprezentowanej przez system. Stąd decyzja, czy dany obiekt powinien być uważany za elementarny, czy nie, powinna być podejmowana w oparciu o atrybuty jakościowe. Obiekty uważane za elementarne w jednym obszarze, niekoniecznie są elementarne w innym obszarze cech jakościowych.

5.2.2. Hierarchia klasyfikacji i łączenia

Przy tworzeniu logicznych struktur danych w środowisku bazodanowym należy wziąć pod uwagę kilka aspektów wymagań dla generalizacji opartej na regułach. Ważnym aspektem jest zagwarantowanie, aby kategorie danych i struktury zachowały właściwą odpowiedniość na różnych poziomach abstrahowania. Różne poziomy abstrahowania mogą być otrzymane z proponowanego środowiska bazodanowego, gdy klasy obiektów są definiowane za pomocą encji lub obiektów z podobnych klas. Innymi słowy, abstrahowanie może być wykorzystane do tworzenia nowych klas obiektów z innych obiektów już istniejących. Na przykład,

wykorzystując procesy abstrahowania, encje łączących się ze sobą odcinków rzek, mogą zostać połączone, tworząc nową klasę obiektów – ciek.

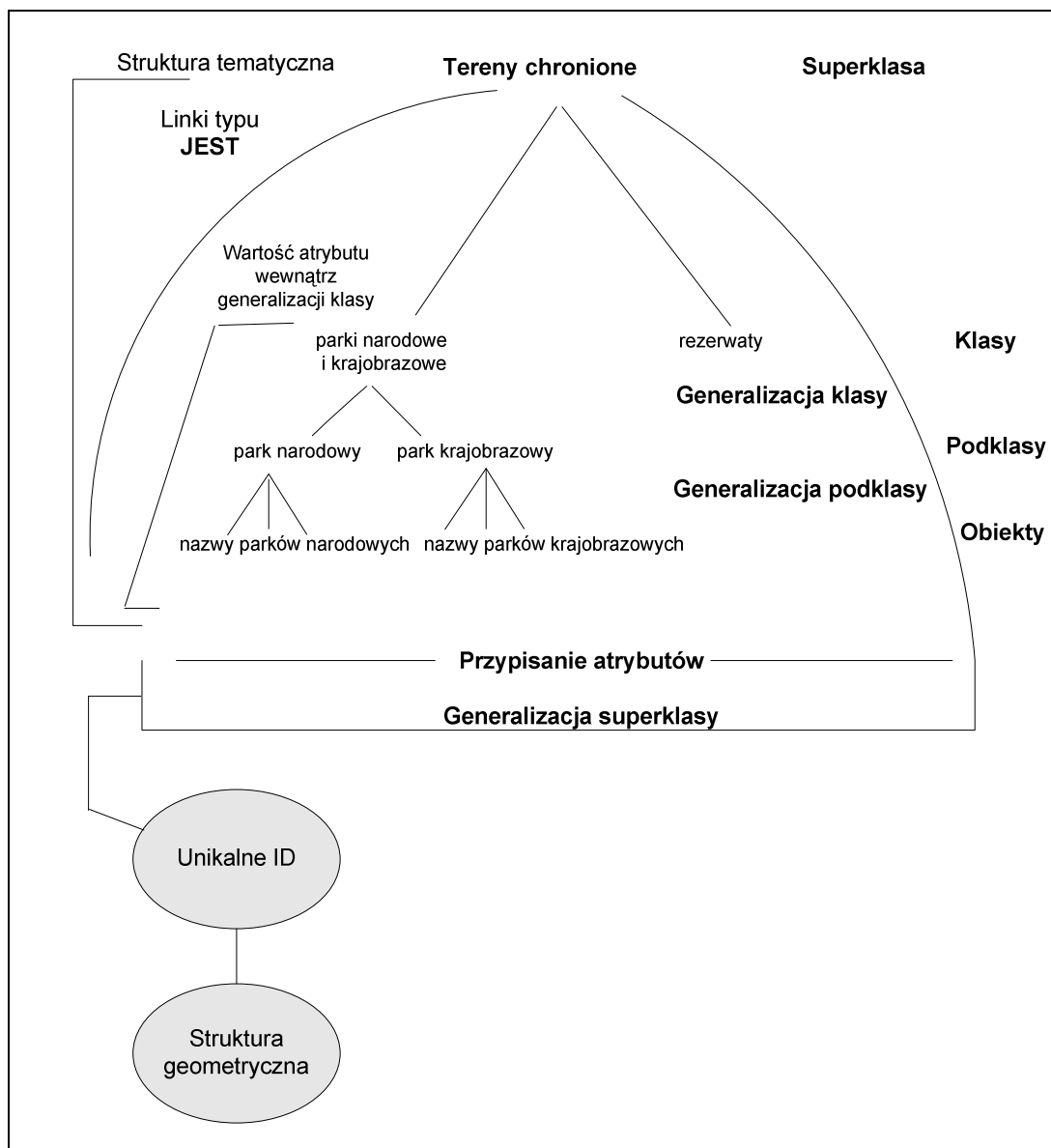
Procesy abstrahowania mogą być realizowane przy użyciu hierarchii klasyfikacji z poziomami podklas i superklas oraz przy użyciu hierarchii łączenia, w której związek pomiędzy obiektami stanowi obiekt wyższego poziomu. W odniesieniu do środowiska komputerowego określane są one mianem hierarchii generalizacji i specjalizacji.

W hierarchii klasyfikacji obiekty z danej klasy mogą być opisywane na kilka sposobów przy pomocy podklas, w których obiekty z danej podklasy należą również do swojej klasy macierzystej. Na przykład w zbiorze podklas i klas na szczycie hierarchii klasyfikacji stoi superklasa. Każda klasa reprezentuje zbiór obiektów, mających wspólne niektóre charakterystyki. Podklasa ma miejsce wówczas, gdy wszyscy członkowie danej klasy są również członkami innej klasy. Każda klasa lub podklasa w hierarchii, dziedziczy właściwości superklasy. To znaczy, wszystkie właściwości klasy generalizowanej mogą być dziedziczone w dół drzewa przez encje składowe (Molenaar, 1990), (Thompson, 1989). W poprawnie zaprojektowanym schemacie klasyfikacji pojedyncze obiekty powinny należeć do jednej i tylko jednej klasy. Dzięki temu klasy są wzajemnie rozłączne. Dobry schemat klasyfikacji dzieli wszystkie elementy czy obiekty poszczególnych klasyfikacji, dzięki czemu eliminuje potrzebę „odrębnych” kategorii i czyni klasy wyczerpującymi, jak również wzajemnie się wykluczającymi (Muehrcke, 1978). W hierarchiach klasyfikacji dziedziczenie struktur atrybutów ma kierunek odwróconego w dół drzewa, umożliwiając bardziej szczegółowy i wyspecjalizowany tematyczny opis obiektów w jednym przebiegu na niższe gałęzie hierarchii.

Hierarchia łączenia różni się od hierarchii klasyfikacji tym, że odnosi się do abstrahowania, w którym związek pomiędzy obiektami stanowi obiekt wyższego poziomu. Hierarchia łączenia pozwala na abstrahowanie związane z obiektami złożonymi, zbudowanymi z obiektów elementarnych niższego poziomu (Molenaar, 1991). Hierarchia ta ma charakter drzewa, w której startując z poziomu obiektów elementarnych, budowane są obiekty o wyższej złożoności w kierunku do góry drzewa. Obiekty złożone dziedziczą wartości atrybutów od tworzących je części (Molenaar, 1991).

W środowisku komputerowym cyfrowa strukturyzacja hierarchii w sieciach semantycznych jest powiązana z koncepcją modelu linkami typu JEST oraz CZEŚĆ.

Klasy są np. połączone związkami postaci podklasa – superklasa, w których klasa posiada, co najwyżej jedną bezpośrednią superklasę. Koncepcja ta jest prawdziwa w najprostszych hierarchiach taksonomicznych, w których każda klasa posiadająca, co najwyżej jedną bezpośrednią superklasę jest drzewem zakorzenionym. Linki pomiędzy klasami nazywane są zwykle linkami typu JEST i mogą oznaczać fakt, że konkretny typ obiektu stanowi generalizację innego typu, np. *Tatrzański Park Narodowy* JEST *Park narodowy*, JEST *Park narodowy i krajobrazowy*, JEST *Teren chroniony*. Linki typu JEST są komponentami hierarchii klasyfikacji i zostały pokazane na rysunku 24, który ilustruje hierarchię klasyfikacji dla terenów chronionych.

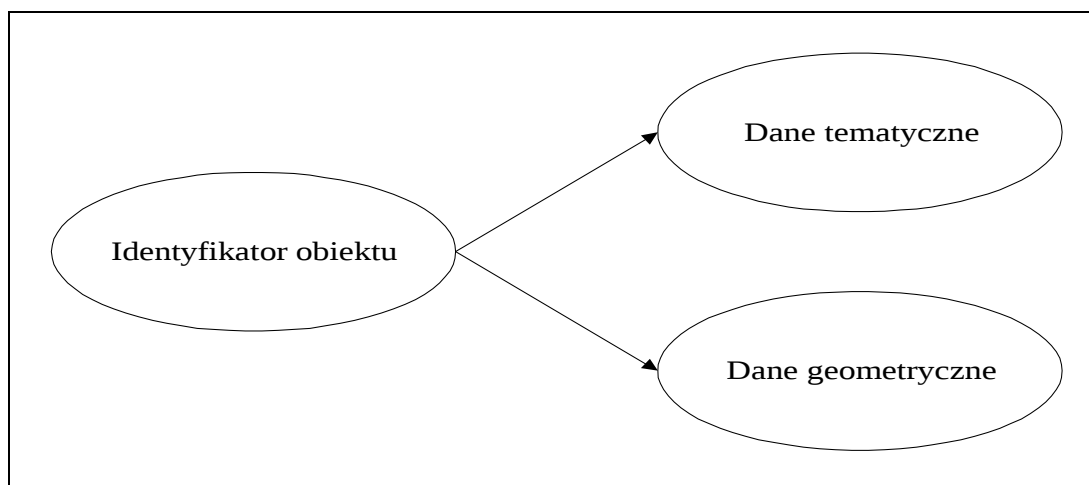


Rys. 24. Hierarchia klasyfikacji i podejścia do generalizacji na przykładzie klasy „Tereny chronione”

Linki typu CZĘŚĆ są komponentami hierarchii łączenia np. dopływ *Raba* jest CZĘŚCIĄ *zlewni Wisły*, jest CZĘŚCIĄ *sieci hydrograficznej*. Linki typu CZĘŚĆ łączą konkretny zbiór obiektów w obiekt złożony typu „do góry”, te z kolei tworzą inne obiekty złożone (Molenaar, 1991) (szerzej omówione w rozdziale 5.3.4)

5.2.3. Formalna struktura danych Molenaara

Formalna struktura danych (*Formal Data Structure* - FDS) opracowana przez M.Molenaara (1989, 1990, 1991 i 1996) dla jednowartościowych map wektorowych stanowi topologiczny model danych spełniający wymagania dla generalizacji komputerowej. Stanowi model danych posiadający możliwość zapewnienia realizacji wszystkich wymienionych powyżej wymagań dla trójpoziomowej architektury systemu. Struktura danych zaproponowana przez M.Molenaara posługuje się zarówno geometrycznymi, jak i tematycznymi aspektami geoinformacji, używając elementarnych typów danych, takich jak punkty, linie, obszary oraz zbiorów tematycznych powiązanych z typem danych geometrycznych obiektów. Połączenia pomiędzy identyfikatorem obiektu a danymi geometrycznymi i danymi tematycznymi na bardzo ogólnym poziomie zostały pokazane na rysunku 25. Strzałki pomiędzy elipsami wskazują zależność typu „jeden do wielu”, np. wiele obiektów należących do jednej klasy.

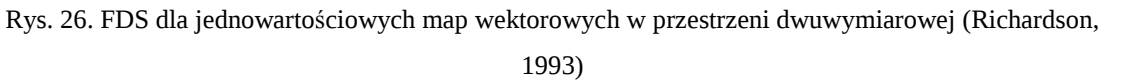


Rys. 25 Podstawowa struktura FDS (Richardson, 1993)

Dla zapewnienia spójności między elementami geometrycznymi i tematycznymi zostają tworzone linki (powiązania) i dzięki temu można określić FDS jako strukturę zorientowaną obiektowo, a obiekt (w myśl definicji bazy danych) składa się z własności topologicznych, tematycznych i przestrzennych. Obiekty o wspólnych charakterystykach zostają grupowane w klasy. FDS jest środowiskiem ułatwiającym przeprowadzanie analiz związków topologicznych pomiędzy elementami geometrycznymi jak i obiektami oraz tworzonymi obiektami złożonymi. Obiekty złożone budowane są na podstawie atrybutów topologicznych z wykorzystaniem funkcji scalania dla określonego atrybutu. Własności topologiczne obiektu są zapewnione w FDS dzięki wykorzystaniu teorii grafów. Umożliwienie identyfikacji kilku związków topologicznych czyni FDS narzędziem przydatnym do analiz. Na przykład, związki topologiczne obecne w FDS kierują właściwościami takimi, jak sąsiedztwo, wyspa, rozgałęzienie, skrzyżowanie, przecięcie, koniec, wewnątrz itp. Te zdolności mogą być wykorzystywane do różnych manipulacji, będących fundamentalnymi wymaganiami dla generalizacji. Algorytmy do przemieszczania obiektów mogą być upraszczane przez związki takie, jak ograniczenie obszaru linią, zwłaszcza w szczegółowych mapach topograficznych dla obszarów zurbanizowanych. Algorytmy do łączenia obiektów mogą również podlegać tym uproszczeniom, np. jeden obszar styka się z innym. Związki te i inne przedstawiono na rysunku 26. Rysunek ten przedstawia formalną strukturę danych, dzięki której możliwe jest tworzenie związków logicznych i topologicznych pomiędzy obiektami i klasami. Pokazuje bardziej szczegółowy model koncepcyjny i hierarchę ważności łuków i węzłów w strukturze globalnej.

Dla zapewnienia prawidłowego funkcjonowania konstrukcji logicznej modelu danych opartego na FDS, należy ustalić następujące warunki:

- a) klasy obiektów muszą się wzajemnie wykluczać, to znaczy, każdy obiekt posiada dokładnie jedną klasę etykiet,
 - b) klasa obiektów zawiera dane geometryczne jednego typu,
 - c) rozpatrując mapę jako graf, wszystkie punkty użyte do opisu geometrii są traktowane jako węzły,
 - d) krawędzie (łuki) w tym grafie są reprezentowane geometrycznie jako odcinki linii prostych,
 - e) dla każdej pary węzłów jest co najwyżej jedna krawędź (łuk), który je łączy.
- Dodatkowo, węzły mogą być połączone w jeden lub więcej łańcuchów.



Poniżej zostają przedstawione zasady:

- eliminacji i upraszczania kształtu obiektów liniowych i powierzchniowych,
- ustalenia sposobu wizualizacji obiektów TBD,
- tworzenia, klasyfikacji i eliminacji regionów drogowych,
- scalania obiektów.

5.3.1. Eliminacja i upraszczanie obiektów liniowych i powierzchniowych

W procesie upraszczania i eliminacji obiektów liniowych lub powierzchniowych Bazy Danych Topograficznych zostają wykorzystane algorytmy upraszczania linii łamanych otwartych i zamkniętych (omówione poniżej). Dla poszczególnych klas obiektów podlegają one różnego rodzaju modyfikacjom, które zostaną przedstawione w dalszej części pracy przy omawianiu tych wyróżnionych klas.

5.3.1.1 Upraszczenie linii łamanych otwartych

Proces komputerowego upraszczania linii łamanych otwartych (Rys. 27) przebiega w następujących etapach (zgodnie z założeniami metody obiektywnej omówionej

w rozdziale 2.3.1.6):

1. Wstępna eliminacja całej linii łamanej – warunek niezbędny dla przeprowadzania procesu upraszczania:

$$\varepsilon_j \leq s \quad (11)$$

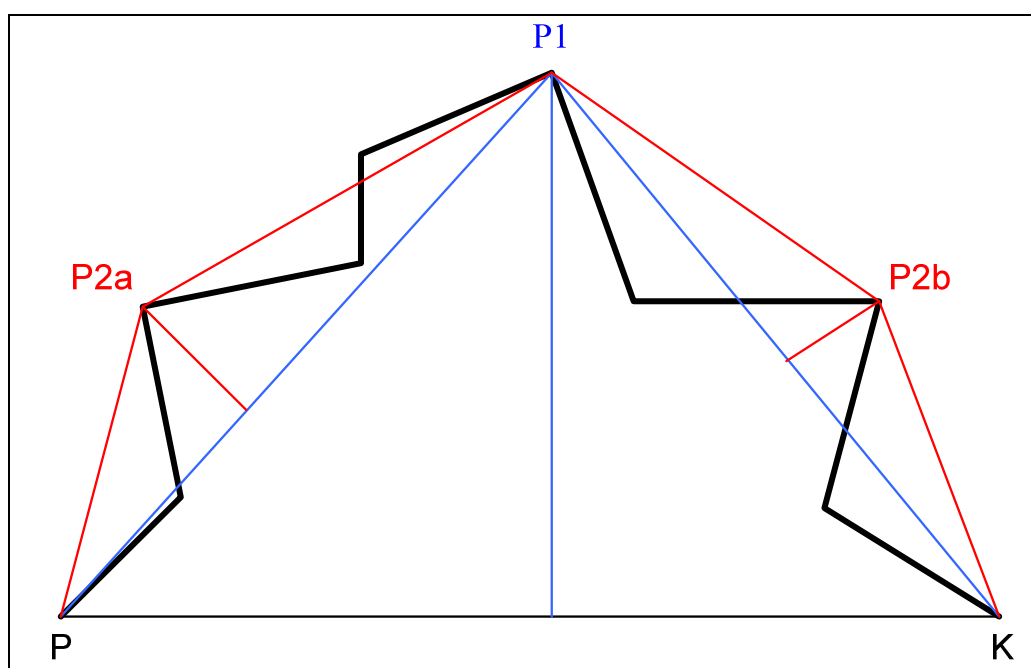
gdzie: ε_j - długość najkrótszego boku trójkąta elementarnego

s - długość cięciwy linii łamanej pomiędzy jej punktami początkowym P i końcowym K (P i K to tzw. punkty stałe)

W przypadku niespełnienia powyższego warunku następuje eliminacja linii łamanej, a gdy warunek niezbędny zostaje spełniony można przejść do procesu upraszczania kształtu (od punktu 2)

2. Wybór ekstremum lokalnego, czyli punktu o maksymalnej odległości od cięciwy łączącej punkty początkowy i końcowy linii łamanej (punkt o maksymalnej długości strzałki) - będzie to punkt P1

3. Sprawdzenie warunku trójkąta elementarnego, czyli czy cięciwy łączące punkt badany (P1) z punktami początkowym i końcowym są większe lub równe długości ε_j . Jeżeli warunek zostaje spełniony to punkt badany staje się punktem stałym dla przeprowadzanego dalej procesu i dzieli linię łamaną pierwotną na dwa segmenty – segment od punktu P do P1, oraz od punktu P1 do K. Jeżeli warunek nie zostaje spełniony, to zostają wybierane kolejno punkty wg. kryterium maksymalnej strzałki, aż warunek zostanie spełniony. Jeżeli żaden z punktów linii łamanej nie spełni tego warunku tzn., że może ona zostać przedstawiona tylko w postaci cięciwy łączącej punkty stałe.
4. Dalszy przebieg procesu to ponowny wybór ekstremów lokalnych w każdym z utworzonych segmentów linii łamanej i sprawdzenie dla nowo wybranych punktów warunku trójkąta elementarnego (punkty P2a oraz P2b).



Rys. 27. Proces upraszczania linii łamanej otwartej

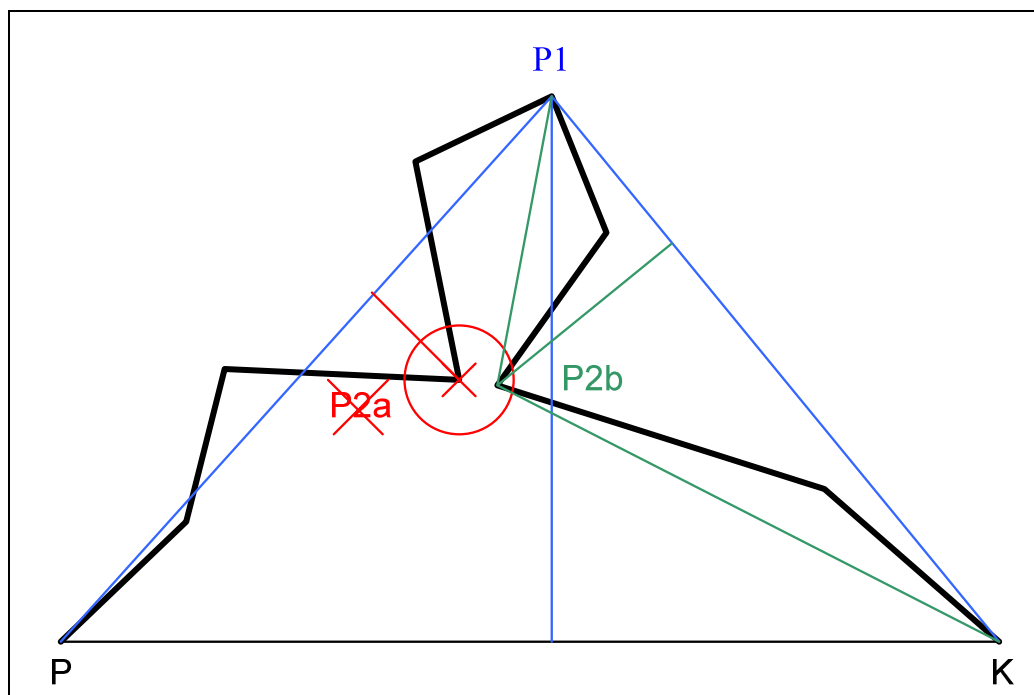
Dla tak przeprowadzanego procesu możemy zauważyć, że mogą zdarzyć się sytuacje, kiedy punkty stałe (pozostawione po procesie upraszczania) będą wzajemnie nierozpoznawalne. Jest to spowodowane dzieleniem linii łamanej na segmenty podczas procesu i traktowanie tych segmentów jakby były pojedynczą linię łamaną, bez zwracania uwagi na relacje pomiędzy punktami badanego segmentu linii łamanej z punktami w pozostałych segmentach. Aby ustrzec się takich

sytuacji zostaje dodatkowo wprowadzony do algorytmu warunek wzajemnej rozpoznawalności kolejno wyszczególnianych w procesie upraszczania punktów stałych. Z każdego takiego punktu zostaje wyprowadzony tzw. „okrąg rozpoznawalności”, czyli okrąg o promieniu o długości równej ε_j i następuje zbadanie czy żaden z wcześniej już ustalonych punktów stałych nie leży w jego wnętrzu. Jeżeli zajdzie sytuacja, że znajdzie się we wnętrzu tego okręgu jakiś punkt stały to znaczy, że badany punkt nie może zostać punktem stałym pomimo tego, że spełnił warunki opisane w punktach 2 i 3 procesu upraszczania (Rys.28).

Przy stosowaniu tego warunku dodatkowego dla procesu upraszczania musi zostać brana pod uwagę hierarchia ważności kolejno ustalanych punktów stałych linii łamanej:

- poziom 0 – punkty P_i K,
- poziom 1 – punkt P1,
- poziom 2 – punkty P2a i P2b – ponieważ są to punkty na równoważnym poziomie hierarchii wynikającej z segmentacji krzywej, w związku z tym o ważności tych punktów będzie decydowała większa długość strzałki. Dla przypadku przedstawionego na rysunku 28 punkt P2b będzie ważniejszy niż P2a ponieważ długość jego strzałki jest większa i w związku z tym będzie on w pierwszej kolejności podlegał procesowi upraszczania (pozostanie po procesie). Natomiast punkt P2a będzie później badany i ponieważ w „okręgu rozpoznawalności” znajdzie się punkt P2b (już określony jako stały) w związku z tym punkt P2a będzie musiał zostać usunięty i w segmencie PP1, będzie szukane nowe ekstremum lokalne.
-

W związku z tym po wyszczególnieniu w procesie upraszczania wszystkich punktów stałych z danego poziomu segmentacji linii łamanej, nastąpi uszeregowanie ich wg hierarchii ważności na tym poziomie i sprawdzenie kolejno od najważniejszego czy nie wchodzi on w konflikt rozpoznawalności z punktami stałymi, które już zostały wcześniej ostatecznie zatwierdzone.



Rys. 28. Uzupełniający warunek dla wzajemnej rozpoznawalności punktów w segmentach upraszczanej linii łamanej

5.3.1.2 Upraszczanie linii łamanych zamkniętych

Algorytm upraszczania linii łamanych zamkniętych określony przez T.Chrobaka (1999) w pierwszym kroku poszukuje dwóch najbardziej charakterystycznych punktów linii łamanej, które pozwolą w dalszej fazie procesu na zastosowanie w nim algorytmu upraszczania linii łamanych otwartych przedstawionego w rozdziale 5.3.1.1. Należy, więc znaleźć dwa punkty linii łamanej zamkniętej, które są niezmiennikami procesu. Punktami tymi są:

- środek ciężkości obszaru wyznaczanego przez linię łamaną zamkniętą,
- punkt na linii łamanej najbardziej odległy od środka ciężkości.

Środek ciężkości linii łamanej zamkniętej przed generalizacją x_c, y_c opisują równania:

$$x_c = \frac{\int_a^b x(y_1 - y_2) dx}{S}, \quad y_c = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b (y_1^2 - y_2^2) dx}{S}, \quad (12)$$

gdzie: $y_1 = f_1(x)$ i $y_2 = f_2(x)$ są równaniami górnej i dolnej części konturu figury płaskiej, a S jest polem figury.

Porównanie odległości zmieniającego się położenia środka ciężkości względem jego pierwotnego położenia ze średnimi błędami długości upraszczanych linii łamanych zamkniętych przeprowadził T.Chrobak (1999) i wykazał, że punkt będący środkiem ciężkości linii łamanej zamkniętej (w procesie upraszczania) ulega przesunięciu porównywalnemu z dokładnością procesu upraszczania linii łamanej. Ponadto środek ciężkości ma tę zaletę, że nie ulega eliminacji w procesie upraszczania.

Mając znalezione dwa punkty charakterystyczne linii łamanej zamkniętej szukamy kolejnego punktu stałego, czyli zgodnie z algorytmem upraszczania linii łamanych otwartych będzie to punkt (spośród punktów należących do linii łamanej) o maksymalnej odległości od cięciwy łączącej znane dwa punkty charakterystyczne. Jeżeli zostaje on wyznaczony to nasza pierwotna linia łamana zamknięta zostaje podzielona na dwa segmenty do dalszego upraszczania (linie łamane otwarte). Kolejne kroki algorytmu są zgodne z przedstawionymi w rozdziale 5.3.1.1 etapami działania algorytmu upraszczania linii łamanych otwartych.

5.3.2. Ustalenie sposobu wizualizacji obiektów TBD

Dla ustalenia sposobu wizualizacji poszczególnych obiektów Bazy Danych Topograficznych zostaje zaadoptowana zaproponowana przez T.Chrobaka (2005) metoda wyznaczania progów i etapów generalizacji¹¹ z zastosowaniem własności rozkładu statystycznego. Można wykorzystać własności rozkładu statystycznego, ponieważ w stosowanej metodzie upraszczania linii łamanych liczba punktów odrzucanych nie zależy od redaktora mapy, tylko od rozpoznawalności rysunku i hierarchii obiektów, a zatem od czynników obiektywnych, stąd wynik procesu ma cechy rozkładu statystycznego. Gęstość rozkładu określa: wartość oczekiwana - $E(X)$, a rozrzut statystyczny wyników - odchylenie standardowe $\sigma(X)$.

Zgodnie z rozkładem normalnym prawdopodobieństwo uzyskania wartości zmiennej losowej X z niepewnością σ odpowiada 68%, co dla procesu upraszczania

¹¹ Próg generalizacji - zmiana metody prezentacji kartograficznej wywołana najczęściej na mapach utratą informacji szczegółowej na rzecz uogólnionej.

Etap generalizacji - proces generalizacji pomiędzy pojemnością wyjściową a progiem generalizacyjnym (Ratajski, 1989)

linii łamanych jest równoważne liczbie punktów pozostających po generalizacji n_i . Wykorzystując tę własność rozkładu określono zależność:

$$100\left(\frac{n_i - c}{n_0} - \sigma\right) = K_i = \min \subset R \in [-5, 10) \wedge n_i \neq c \quad (13)$$

gdzie: n_0 – liczba punktów linii łamanej pierwotnej,
 n_i – liczba punktów po generalizacji,
 c – liczba punktów niezmienników procesu,
 σ – odchylenie standardowe, równe 68%.

Wartości graniczne w przedziale zależności (13), ustalono na drodze empirycznej. Wartość granicy lewostronnej wynika stąd, że malejąca liczba punktów o więcej jak 5% w procesie generalizacji, powoduje znaczącą różnicę w kształcie linii łamanych przed i po upraszczaniu. Nadmiar pozostających punktów (wartość granicy prawostronnej) nie rodzi tego zagrożenia, a nawet rosnąca wartość powiększa zgodność linii łamanych ze względu na ich kształt.

Zostają określone następujące progi generalizacji (Rys. 29):

1. Linia łamana

W celu ustalenia progu generalizacji oblicza się K_i z zależności (13), dla zmieniających się mianowników skal np. $M_1 = 1000$, $M_2 = 2000$, $M_3 = 3000$, ... procesu upraszczania. Mianownik skali, dla którego K_i spełnia zależność (13) jest progiem generalizacji (oznaczony jako M_i). Jest to granica przedziału, dla której stosuje się prezentację metodą linii łamanej, czyli metodę, którą prezentowany jest pierwotny obiekt liniowy (przed generalizacją). Granica przedziału wynika z faktu, że linia łamana uogólniona zachowuje kształt linii łamanej pierwotnej, gdy średni błąd długości jest mniejszy od dozwolonego normą branżową GUGiK. A zgodnie z definicją pojedynczego błędu średniego jest on prawdopodobieństwem odpowiadającym 68% zdarzeń, że wielkość błędu nie zostanie przekroczona. Oznacza to, że gdy 68% punktów pozostaje po uogólnieniu linii łamanej to jest zachowana norma branżowa GUGiK. Wynika to stąd, że średni błąd jest liczony dla najkrótszych odległości pomiędzy pozostającymi punktami a odrzucanymi.

2. Wyglądanie linii łamanej

W kolejnym etapie generalizacji upraszczanej linii łamanej stosuje się metodę wyglądzania. W celu ustalenia przedziału skal dla tej metody prezentacji wyników na mapie wykorzystano zależność:

$$n_j(M_j) > c \quad (14)$$

gdzie: n_j – liczba punktów po generalizacji dla mianownika skali M_j ,

c – liczba punktów niezmienników procesu,

$n_{j+1}(M_{j+1}) = c$, gdzie: (M_{j+1}) – zmiana o jeden interwał różny od mianownika M_j

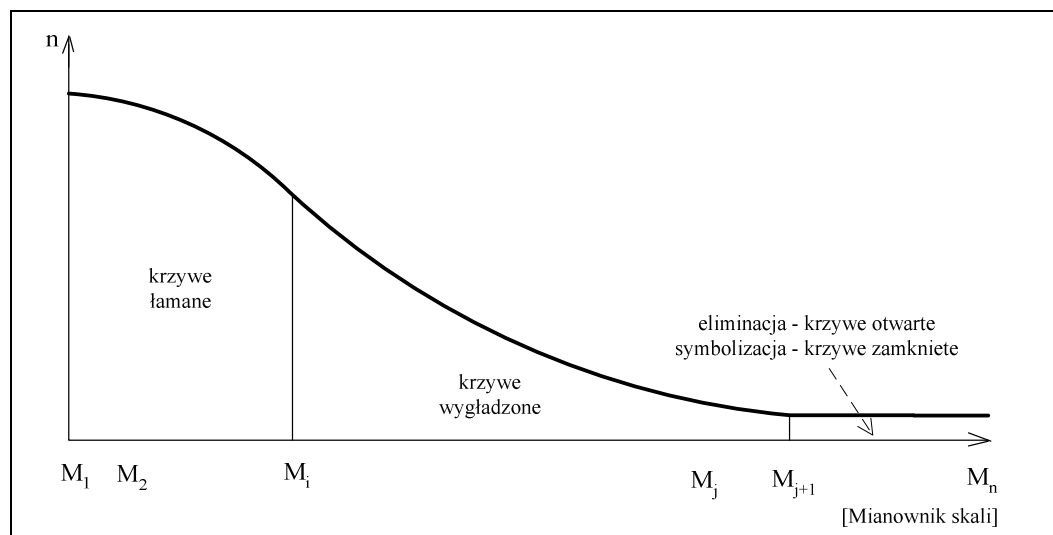
3. Eliminacja linii łamanych otwartych, symbolizacja linii łamanych zamkniętych

Jest to ostatni etap generalizacji wyszczególniony dla takich mianowników skali mapy, dla których mianownik skali M_{j+1} spełnia warunek:

$$n_j(M_{j+1}) = c \quad (15)$$

Wówczas na mapie prezentuje się linie łamane, metodą:

- eliminacji dla linii łamanych otwartych,
- symbolizacji dla linii łamanych zamkniętych.



Rys. 29. Etapy i progi generalizacji

Dla obszarów zamkniętych o wypełnionym wnętrzu obiektami pojedynczymi lub zwartymi kompleksami ustalono próg prezentacji wyników po generalizacji, z wykorzystaniem obliczenia powierzchni:

- P_0 - obszaru zamkniętego,
- P_i - obiektu pojedynczego lub zwartego kompleksu,

oraz wyznaczenia sumy obiektów P_i :

$$\sum_{i=1}^n P_i \quad (16)$$

Obliczono iloraz:

$$l_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (17)$$

Wartość ilorazu maleje wraz z eliminowanymi obiektami w procesie generalizacji (zmniejszających się skal), przy zachowaniu ich hierarchii. Podobnie jak związek (13), próg dla obszarów zamkniętych wypełnionych obiektami wyznacza zależność:

$$100(l_i - \sigma) = B_i = \min \subset R \in [-5, 10], \quad (18)$$

gdzie: σ – współczynnik jak w zależności (13).

Z wzoru (16), ustala się próg do prezentacji obiektów na mapie:

- obszaru z obiektami, gdy spełniona jest zależność (16),
- eliminację obiektów, gdy nie spełniona jest zależność (16).

5.3.3. Tworzenie, klasyfikacja i eliminacja regionów drogowych

Regiony (Szostak, Kozioł, 2006) to obszary powierzchniowe, których granice zewnętrzne tworzą obiekty liniowe będące drogami (ulicami) znajdującymi się najniżej w klasyfikacji ustawowej (drogi powiatowe - posiadające numerację). Regiony elementarne¹² są obszarami najmniejszymi powierzchniowo w sieci drogowej – superklas, składające się z ulic tworzących sieć lokalną. Sieć ta jest niezależna w każdym regionie elementarnym, dzięki czemu ustalona jedna domena atrybutów ma zastosowanie w klasyfikacji ulic (obiektów) każdego regionu elementarnego opracowywanej mapy.

Regiony elementarne stanowią podstawę dla przeprowadzania procesu generalizacji superklas obiektów TBD omawianych w niniejszej rozprawie, czyli superklas: „Kompleksy pokrycia terenu” oraz „Budowle i urządzenia”. To właśnie wewnątrz regionów elementarnych jest wykonywany proces generalizacji dla obiektów z tych wyszczególnionych superklas. Jest to przede wszystkim spowodowane tym, że drogi są tym elementem sytuacji geograficznej, który powoduje rozgraniczenie między poszczególnymi obiektami w superklasach

¹² Region elementarny - region, w którym granice zewnętrzne są tej samej lub różnej klasy, ale krawędzie wewnętrzne regionu są jednej i to najniższej klasy

„Kompleksy pokrycia terenu” i „Budowle i urządzenia”. Jest ważne również to, że dzięki ustaleniu należności obiektów omawianych superklas do regionów elementarnych, w przypadku eliminacji regionu elementarnego na skutek kryterium rozpoznawalności rysunku, będzie można automatycznie dokonać eliminacji obiektów superklas „Kompleksy pokrycia terenu” i „Budowle i urządzenia”.

Przy budowie regionów, tj. obiektów złożonych z elementarnych, zastosowane zostają dwa rodzaje reguł zdefiniowanych przez M.Molenaar (Molenaar, 1989):

- a) reguły określające klasy obiektów elementarnych tworzących obiekt złożony,
- b) reguły określające relacje topologiczne między obiektami elementarnymi (tzn. przyległość, połączenie, itp.)

Rozpatrując sieć drogową (Rys.30a) na pewnym ograniczonym obszarze, można powiedzieć, że regiony klas niższych zawierają się w regionach klas wyższych. Pierwszy region o najwyższej klasie stanowi granica opracowania. Kolejnym są regiony tworzone przez drogi klasy krajowej, następnie wojewódzkiej aż do regionów elementarnych utworzonych na podstawie dróg najniższej klasy posiadającej numerację (klasyfikację) w tym wypadku drogi powiatowe. W wyniku działania algorytmów do budowy regionów zostają utworzone regiony różnych klas (Rys. 30b), o ustalonej hierarchii.



Rys. 30. Fragment TBD: a) sieć drogową jako graf planarny z podziałem na drogi krajowe – czerwony, wojewódzkie – zielony, powiatowe – brązowy, pozostałe – czarny, b) regiony elementarne utworzone na podstawie węzłów i krawędzi (Szostak, Kozioł, 2006)

Istnienie klasyfikacji i topologii obiektów to podstawowe warunki w procesach automatycznych. Szczególną uwagę należy zwrócić na proces eliminacji, który bez jednoznacznej klasyfikacji nie może zostać przeprowadzony. Sposobem na uniknięcie konieczności wprowadzania nowych atrybutów jest uzyskanie atrybutów klasyfikujących opartych na atrybutach topologicznych – wynikających z geometrii i logiki sieci drogowej (Chrobak, 1999, 2000, Kozioł, 2002). Wartości atrybutów zdefiniowanych przez K.Kozioła (Kozioł, 2003) są podstawą do wykonania jednoznacznej klasyfikacji dróg kołowych z zastosowaniem regionów.

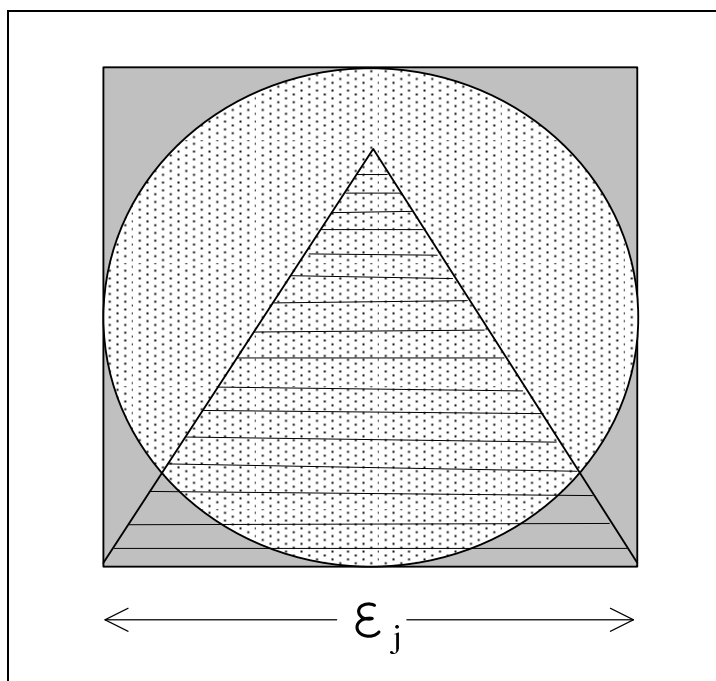
Podstawowymi atrybutami klasyfikacji są: liczba encji, ranga encji i atrybut połączenia. Największe wartości tych atrybutów przypadną regionom o dużej liczbie dróg (ulic) obliczone na podstawie stopnia węzła i istniejącej hierarchii w sieci drogowej. Atrybut długości drogi (ulicy) został w klasyfikacji uwzględniony jako 0,01 jego wartości. Natomiast miarą rozpoznawalności regionu będzie wartość atrybutu pola powierzchni.

Po przeprowadzonej klasyfikacji regionów strukturalnych sieci drogowej można przeprowadzić w sposób automatyczny proces eliminacji regionów. Eliminacja regionu powoduje eliminację wszystkich obiektów znajdujących się w jego wnętrzu, a czynnikiem decydującym o eliminacji jest rozpoznawalność rysunku mapy. Chcąc dokonać procesu automatycznej eliminacji niezbędne jest określenie atrybutu wskazującego na pozostawienie lub usunięcie obiektu.

W przypadku automatycznej eliminacji regionów drogowych należy je traktować jako poligony, a powierzchnię tego poligonu jako atrybut umożliwiający ocenę rozpoznawalności regionu. Jako powierzchnie porównawczą przyjęto pole powierzchni koła o promieniu równym połowie miary rozpoznawalności kształtu linii łamanej określonej przez T.Chrobaka (1999), więc $0,5 * \varepsilon_j$ (rozdział 2.3.1.6). Wybór koła, jako powierzchni wzorcowej, został podyktowany traktowaniem każdego regionu jako osobnego obiektu i badaniu jego otoczenia (równoodległych punktów od obiektu). Porównanie pól powierzchni dla figur wzorcowych: trójkąta, prostokąta, okręgu przedstawia tabela 2 oraz rysunek 31. Kryterium przyjęte względem powierzchni elementarnych i strukturalnych regionów sieci drogowej umożliwia testowanie ich rozpoznawalności na mapie oraz zachowanie warunku obiektywności i możliwości weryfikacji wyników procesu eliminacji.

Tab. 2. Zestawienie wartości pól powierzchni figur wzorcowych: trójkąta, prostokąta, okręgu

Wielkość wzorcowa dla trójkąta, prostokąta i okręgu		Mianowniki skali mapy								
		5 000	10 000	25 000	50 000	100 000	250 000	500 000	750 000	1 000 000
		Wartość pola powierzchni [m ²] dla przyjętego $\epsilon_j = 0,6$								
Bok trójkąta	ϵ_j	4,5	18	112,5	450	1 800	11 250	45 000	101 250	180 000
Bok prostokąta	ϵ_j	9	36	225	900	3 600	22 500	90 000	202 500	360 000
Promień okręgu	0,5 * ϵ_j	7	28	176	700	2 800	17 600	70 000	159 043	280 000



Rys. 31. Pola powierzchni figur wzorcowych: trójkąta, prostokąta, okręgu

W wyniku badań nad procesem eliminacji regionów został dostrzeżony problem wpływu metody wizualizacji sieci drogowej na proces eliminacji regionów. W celu uzyskania poprawnego obrazu sieci drogowej, na wybranej skali mapy należy uwzględnić wielkości symboli używane na tej mapie do wizualizacji dróg. Zmiana sposobu prezentacji będzie miała zasadniczy wpływ na liczbę wyeliminowanych obiektów (tab. 3).

Tab. 3. Przykładowe pola powierzchni wzorcowej na mapie, gdy zmienia się skala i wielkość symbolu (Kozioł, 2006)

Skala	Wartości promienia koła z uwzględnioną szerokości symbolu w skali mapy [mm]					
	0,5+ 0,1	0,5 + 0,25	0,5 + 0,35	0,5 + 0,5	0,5+ 1,0	0,5 + 2,0
	Pole powierzchni wzorcowej [m ²]					
1:10 000	113,1	176,7	227,0	314,2	706,9	1 963,5
1:25 000	706,9	1 104,5	1 418,6	1963,5	4417,9	12 271,8
1:50 000	2 827,4	4 417,9	5 674,5	7854,0	17671,5	49 087,4

Po wyborze regionów niespełniających kryterium należy dokonać jego eliminacji, jednakże w przypadku regionów sieci drogowej eliminacja przebiega na drodze agregacji z jednym z regionów sąsiadujących. Atrybutem wskazującym właściwy region nadrzędny jest wartość klasy dróg, ulic lub ciągów komunikacyjnych stanowiących granicę regionu. Znając wartość klasy wszystkich granic regionu do agregacji wybierany jest ten, który jest najniżej w klasyfikacji.

Regiony, których granice należą do jednej klasy (np. drogi klasy powiatowej) podlegają agregacji poprzez krawędź, należącą do obiektu złożonego (droga, ulica, ciąg komunikacyjny), którego suma atrybutów klasyfikujących jest najniższa. W ten sposób uzyskany zostaje zgeneralizowany zbiór regionów ze zbioru wyjściowego.

5.3.4. Scalanie obiektów

Obiekty mogą być scalane tworząc obiekty złożone na kilku poziomach złożoności. Mogą one tworzyć hierarchię scalania pokazującą jak z obiektów elementarnych można zbudować obiekty złożone i jak owe obiekty złożone można składać budując obiekty jeszcze bardziej złożone itd. W literaturze na temat modelu semantycznego relacje w górę hierarchii scalania nazywane są połączeniami typu CZĘŚĆ. Połączenia te tworzą relację danego zbioru obiektów ze specyficznym obiektem złożonym, z obiektem jeszcze bardziej złożonym itd., np. Rynek Główny jest CZĘŚCIĄ Śródmieścia i CZĘŚCIĄ m. Krakowa

W przypadku złożonych obiektów przestrzennych połączenia CZĘŚĆ mogą się opierać na dwóch rodzajach reguł obejmujących tematyczne i geometryczne aspekty obiektów elementarnych. Stąd ogólna definicja rodzaju scalania powinna składać się z następujących reguł (Molenaar, 1993):

- reguł określających klasy obiektów elementarnych tworzących obiekt scalony danego rodzaju,
- reguł określających geometryczne oraz topologiczne relacje między tymi obiektami elementarnymi.

Przyjmijmy, że należy stworzyć obiekty scalone rodzaju T. W tym celu należy po pierwsze określić obiekty O_i , które mogłyby być częścią takich scaleń. Powinny one spełniać określone warunki, które zgodnie z dwoma zbiorami reguł podanymi uprzednio często oparte będą na danych tematycznych obiektów. Kryteria te wyrazimy funkcją decyzji

$$D(O_i, T) = 1 \text{ jeżeli obiekt spełnia warunki,} \\ = 0 \text{ w innym przypadku.}$$

Można stworzyć odpowiednie regiony stosując dwie reguły:

- wszystkie obiekty w regionie spełniają funkcję decyzji dla T
 $(\forall O_i \setminus O_i \in R_r) \Rightarrow D(O_i, T) = 1$
- wszystkie obiekty, które spełniają funkcję decyzji dla T oraz które są przylegające z obiektami tego regionu należą do tego regionu
 $(\forall O_i \setminus D(O_i, T) = 1) (\exists O_j \in R_r \setminus \text{Przyległość}[O_i, O_j] = 1) \Rightarrow (O_i \in R_r)$

Reguła druga implikuje, że region można stworzyć, gdy zidentyfikowano co najmniej jeden obiekt, który spełnia regułę pierwszą. Obiekt ten staje się załącznikiem, wokół którego może rozrastać się region na drodze identyfikacji innych obiektów spełniających obydwie reguły.

Region R można wyrazić jako zbiór obiektów:

$$R_r = \{..., O_i, ...\}$$

Obiekty danego regionu można łączyć tworząc scalony, tj. złożony obiekt O_{ar} , gdzie „a” oznacza rodzaj scalania obiektu, a „r” jest jego numerem identyfikacyjnym.

Operację tę wyraża się przez

$$O_{ar} = \text{Scalanie (ang. 'aggr')} (R_r) = \text{Scalanie} (\{..., O_i, ...\})$$

Fakt, że O_i jest częścią O_{ar} wyraża się przez

$$\text{Część}_{kl} = [O_i, O_{ar}] = 1$$

Relacja odwrotna oznacza, że obiekt O_{ar} składa się z regionu R_r , tzn. funkcja określa obiekty, które są składnikami O_{ar} :

$$\text{Comp (ang. 'component')}(O_{ar}) = R_r = \{..., O_i, ...\} = \{(O_i \mid \text{Część}_{kl} [O_i, O_{ar}] = 1)\}$$

Geometrię obiektów scalonych można ustalić przez geometrię obiektów wejściowych. Dla każdego elementu geometrycznego można sprawdzić czy jest on częścią obiektu scalonego rodzaju T_a . Dokonać tego należy w dwóch etapach, które objaśnione będą dla łuków obiektu powierzchniowego O_i w relacji ze scalonym obiektem powierzchniowym O_{ar} . Krok pierwszy ocenia funkcję:

$$\text{Część}_{22}[f_j, O_{ar} \setminus O_i] = \text{MIN} (\text{Część}_{22}[f_j, O_i], \text{Część}_{22}[O_i, O_{ar}])$$

Funkcja ta wyraża, czy dany łuk pozostaje w relacji ze scalonym obiektem poprzez obiekt O_i . Jeżeli tak, to wtedy obie funkcje w wyrażeniu po prawej stronie równania przyjmują wartość = 1 i wartość ta przypisywana jest funkcji po lewej stronie równania. Jeżeli nie, to wtedy, co najmniej jedna z funkcji po lewej stronie przyjmie wartość = 0 tak, że również funkcja po lewej stronie przyjmie wartość = 0. Drugi krok ocenia:

$$\text{Część}_{22}[f_j, O_{ar}] = \text{MAX}_{O_i} (\text{Część}_{22}[f_j, O_{ar} \setminus O_i])$$

Jeżeli istnieje dowolny obiekt, w którym łuk będzie częścią obiektu scalonego, wtedy funkcja ta przyjmuje wartość = 1, a w innym przypadku = 0. Jeżeli funkcja została oceniona dla wszystkich łuków mapy, wtedy geometrię obiektu O_{ar} można ustalić przez wykres przyległości. Dla krawędzi e_i tych łuków, można ocenić funkcję $B[e_i, O_a]$ i stąd znaleźć krawędzie graniczne (tzn. $B[e_i, O] = 1$) i przez to relacje topologiczne z innymi obiektami.

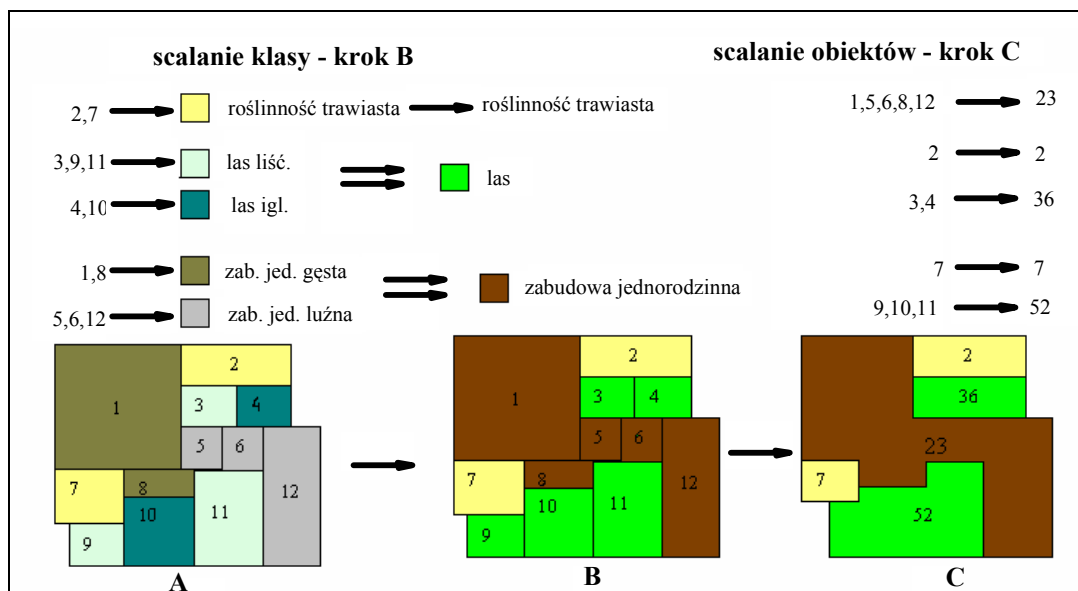
Geometrię scalonego obiektu powierzchniowego O_a można czasami uprościć redukując liczbę łuków. Należy ustalić krawędzie e_i , dla których $B[e_i, O_a] = 2$, które są krawędziami wewnętrznymi. Jeżeli krawędzie te nie są częścią jakiegoś obiektu liniowego tak, że $(\text{linear}) LO(e_i) = 0$, to nie przenoszą informacji semantycznych na tym poziomie scalania i możliwa jest ich eliminacja.

Oдноśnie tematycznych aspektów scalanych obiektów można wyróżnić dwa przypadki:

- obiekty scalone definiowane są w obrębie tej samej hierarchii klasyfikacji, a czasami nawet w obrębie tej samej klasy obiektów wejściowych,
- obiekty scalone są nowymi obiektami wymagającymi całkowicie nowego opisu tematycznego, tzn. zdefiniowania nowej klasy, czy nawet nowej hierarchii klasyfikacji.

5.3.4.1 Scalanie obiektów w obrębie hierarchii klasyfikacji

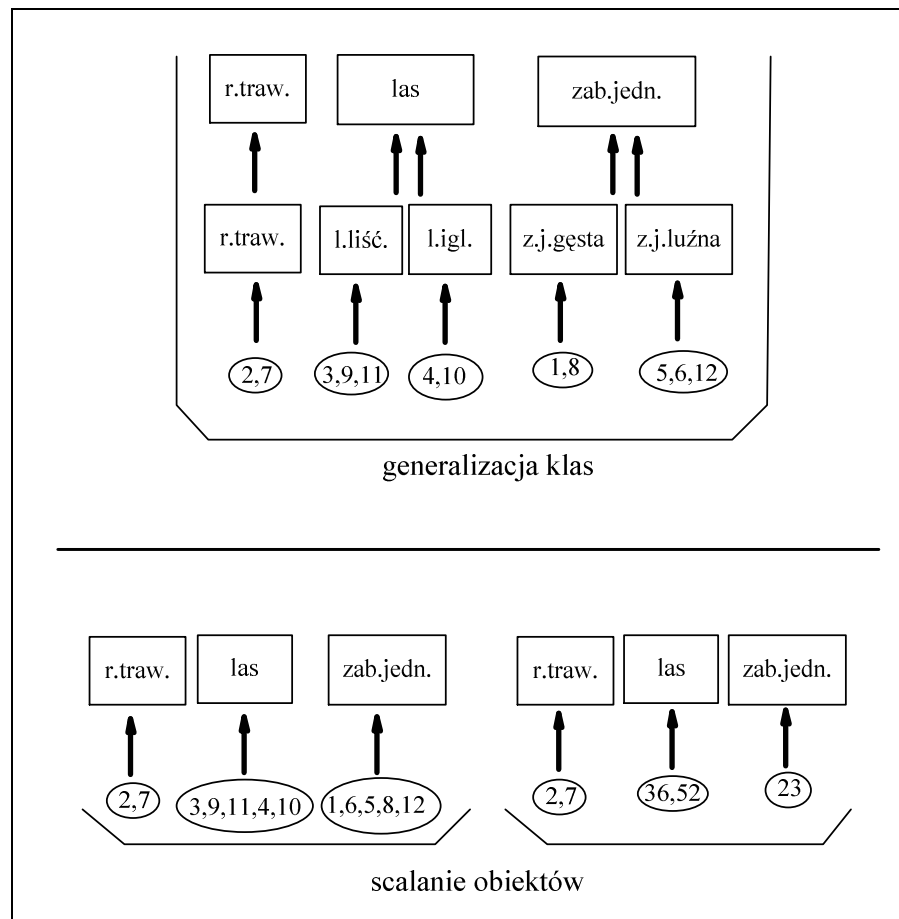
Przyjmijmy, że Baza Danych Topograficznych zawiera sytuację A z rysunku 32 - szczegółowy opis sytuacji w terenie: roślinność trawiasta, obszary leśne oraz tereny zabudowy jednorodzinnej. Opis może okazać się zbyt szczegółowy dla analizy strukturalnej, która powinna oferować informację o obszarach różniących się głównymi typami zagospodarowania ziemi oraz ich rozmieszczeniem przestrzennym. Można uzyskać mniej szczegółowy opis przestrzenny, jeżeli wyjściowe obszary występowania obiektów zostają scalone tworząc większe regiony przestrzenne.



Rys. 32. Scalanie obiektów przez tworzenie regionów

Rysunki 32 i 33 przedstawiają dwa kroki potrzebne do uzyskania mniej szczegółowego opisu:

- wstępnie obiekty przypisane zostają klasom bardziej ogólnym, przedstawiającym główne typy zagospodarowania ziemi (Rys. 32 B),
- następnie obiekty wzajemnie przylegające łączone są w klasach tworząc regiony (Rys. 32 C).



Rys. 33. Etapy generalizacji i scalania w procesie generalizacji obiektów z rysunku 32

Te ostateczne regiony można uważać za obiekty scalone. Funkcje $D(O, T)$ wyrażają, że obiekty powinny zostać scalone w (super) klasach tzn., że jeżeli należy stworzyć obiekty scalone dla zabudowy jednorodzinnej, wtedy $D(O, Zabudowa\ jednorodzinna) = 1$, jeżeli $O \in Zabudowa\ jednorodzinna$. W innym przypadku $D(O, Zabudowa\ jednorodzinna) = 0$.

Rezultatem procesu scalania są regiony, w rozumieniu poprzedniego rozdziału. Każdy region jest obiektem scalonym należącym do jednej klasy zagospodarowania ziemi, tak więc jeżeli R_a jest regionem zabudowy jednorodzinnej, wtedy:

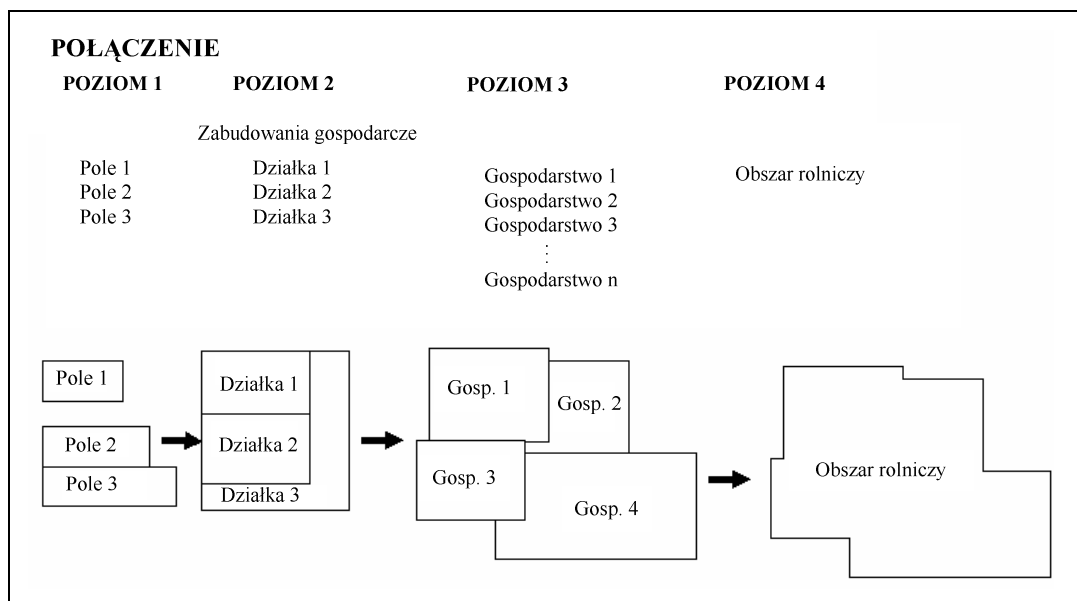
- dla wszystkich obiektów $O_i \in R_a$ funkcja $D(O_i, Zabudowa\ jednorodzinna) = 1$
- jeżeli $O_i \in R_a$ oraz Przyległość $[O_j, O_i] = 1$ oraz $D(O_j, Zabudowa\ jednorodzinna) = 1$ wtedy $O_j \in R_a$

W następstwie tej reguły po zakończeniu procesu scalania nie mogą istnieć dwa przylegające regiony tego samego typu, tzn. przedstawiających tę samą klasę zagospodarowania ziemi.

Dane na wyjściu tego procesu można wykorzystać jako dane wejściowe do kolejnego kroku scalania, gdzie uzyskane regiony zostają przypisane bardziej ogólnej klasie, a następnie scalone, tworząc jeszcze większe regiony.

5.3.4.2 Scalanie obiektów ze zmianą klasy obiektu

Nie zawsze, oczywiście, można dokonać scalania obiektów w obrębie jednej hierarchii klas. W wielu przypadkach scalanie obiektów implikuje całkowicie odmienny opis tematyczny obiektów, wymagający zdefiniowania nowej klasy. Pokazano to na rysunku 34, gdzie zabudowania gospodarcze i pola zostały scalone w gospodarstwa rolne, a te z kolei w obszary rolnicze. Hierarchia scalania rozpoczyna się od obiektów elementarnych do obiektów złożonych, o coraz wyższym stopniu złożoności (tworzone są w kierunku wwyż). Na rysunku 34 obszary rolnicze powinny składać się jedynie z gospodarstw rolnych, a te z kolei powinny być wzajemnie przylegające tak, aby graf przyległości gospodarstw rolnych należących do jednego obszaru był spójny¹³.



Rys. 34. Przykład połączeń między obiektami na różnych poziomach scalania

Możliwe jest zdefiniowanie rodzajów scalania poprzez ich reguły. (Nie należy mylić tych rodzajów z klasami obiektów w hierarchiach klas). Jeżeli obiekty

¹³ Graf spójny - jeśli dowolną parę jego węzłów można połączyć za pomocą „drogi”

elementarne są łączone tworząc obiekt złożony, wartości ich atrybutów często zostają scalane. Plony z gospodarstwa są sumą wydajności plonów na pole, a wydajność na dany obszar jest sumą plonów z gospodarstw. Rozdzielenie tych wartości jest zazwyczaj dość trudne, gdyż można go dokonać jedynie, gdy informacje są dodawane do systemu. Dlatego też hierarchia scalania charakteryzuje się strukturą „z dołu do góry”, w tym sensie, że obiekty elementarne z najniższego poziomu są łączone tworząc coraz bardziej złożone obiekty w miarę wspinania się w górę hierarchii. Obiekty złożone otrzymują wartości atrybutów obiektów, z których są zbudowane.

6. Proces generalizacji oraz warunki szczegółowe dla struktury Bazy Danych Topograficznych dla wybranych superklas obiektów

W rozdziale tym zostaną przedstawione warunki dla przeprowadzania procesu generalizacji¹⁴ klas obiektów wektorowej bazy danych topograficznych w celu uzyskania treści map topograficznych w dowolnej skali. Przedmiotem badań będą obiekty liniowe lub powierzchniowe, gdyż dla obiektów punktowych proces generalizacji będzie opierał się właściwie na warunku pozostawienia lub odrzucenia obiektów. Omówienie dotyczy będzie przykładowych superklas obiektów TBD, dla których przedstawione zostaną szczegółowe warunki wykonania procesu generalizacji i zasady modyfikacji struktury Bazy Danych Topograficznych. Dla pozostałych superklas istnieje możliwość przeprowadzenia procesu generalizacji na podobnych zasadach lub w oparciu o modyfikację i połączenie pewnych elementów z poszczególnych metod, które zostaną zaprezentowane. Spośród superklas poziomu 1 TBD zostaną szczegółowo omówione następujące superklasy obiektów:

- „Sieci cieków” (SW),
- „Budowle i urządzenia” (BB),
- „Kompleksy pokrycia terenu” (PK).

Superklasa „Sieci dróg i kolei” (SK) nie zostaje omówiona, ponieważ sposób wykonywania generalizacji sieci drogowej został rozwiązany przez T.Chrobaka (1999) i K.Kozioła (2003) i ma również zastosowanie w generalizacji obiektów TBD.

Sieć kolei charakteryzuje się dużym podobieństwem do sieci drogowej, więc można dla tej superklasy zaadoptować te same algorytmy, co dla sieci drogowej.

Dla generalizacji superklasy „Sieci uzbrojenia terenu” (SU) można zaadoptować algorytmy generalizujące sieci drogowe lub sieci cieków.

Superklasy:

- „Kompleksy użytkowania terenu” (KU),
- „Tereny chronione” (TC)
- „Podziały administracyjne i ewidencyjne” (AD)

¹⁴ Proces generalizacji - w dalszej części pracy pod tym pojęciem rozumiane są procedury: eliminacji, upraszczania kształtu, scalania, ustalania progów generalizacji

będą podlegały analogicznym zasadom generalizacji jak dla superklasy „Kompleksy pokrycia terenu”. Dla tych superklas, dla których został model pojęciowy tak skonstruowany, aby umożliwiać pokazywanie terenu na różnych poziomach szczegółowości istotą procesu generalizacji będzie określenie zasad agregacji poszczególnych obiektów. Dla pozostałych proces generalizacji będzie się sprowadzał do zastosowania procedur eliminacji i upraszczania obiektów oraz określania sposobu ich wizualizacji.

Obiekty superklasy „Obiekty inne” (OI), ze względu na swą różnorodność będą generalizowane z zaadoptowaniem różnych algorytmów stosowanych w wyszczególnionych powyżej superklasach TBD.

6.1. Sieci cieków

Sieci cieków zgodnie z Wytycznymi Technicznymi TBD (2003) tworzą odcinki osi rzek, strumieni, kanałów i rowów melioracyjnych pomiędzy węzłami sieci hydrograficznej (źródło, ujście, wpływ do zbiornika, wypływ ze zbiornika, rozwidlenie cieków na ciek główny i boczny....). Postawą reprezentacji wszystkich cieków są ich osie geometryczne, a w przypadku cieków szerszych niż 5m dodatkowo obiekty powierzchniowe tworzone przez linie brzegowe, które są treścią oddzielnej klasy „Obszary wód” w grupie „Kompleksy pokrycia terenu” (proces generalizacji obiektów powierzchniowych klasy „Obszary wód” zostanie przedstawiony w dalszej części pracy).

Schemat klasyfikacji wraz z system kodowania dla sieci cieków przedstawia tabela 4.

Tab. 4. Schemat klasyfikacji „Sieci cieków” (Wytyczne techniczne TBD, 2003)

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 2	Kod	Poziom 3
SW	Sieci cieków	SW RK	Odcinki rzek i kanałów	SW RK 01	Rzeka, strumień
				SW RK 02	Kanał
		SW ML	Odcinki rowów melioracyjnych	SW ML 01	Rów melioracyjny

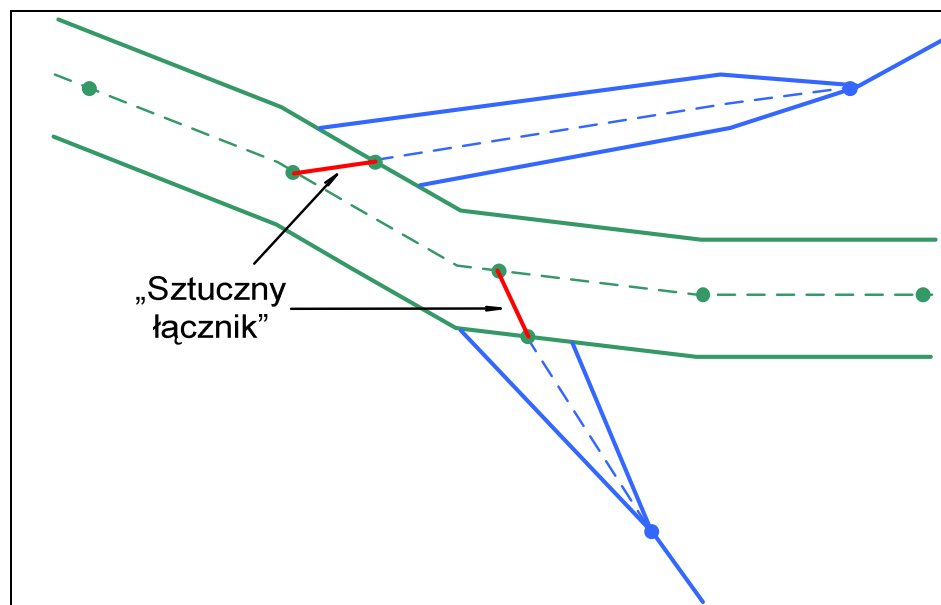
W dalszej części pracy analizie zostaną poddane tylko odcinki rzek i kanałów, gdyż odcinki rowów melioracyjnych mają podobny charakter i będzie można dla ich procesu generalizacji stosować podobne techniki jak dla odcinków rzek i kanałów. Jest to uzasadnione tym, że reprezentacja geometryczna obu tych klas obiektów

realizowana jest zgodnie z zasadami grafu planarnego w sposób pozwalający na przeprowadzanie poszczególnych analiz sieciowych.

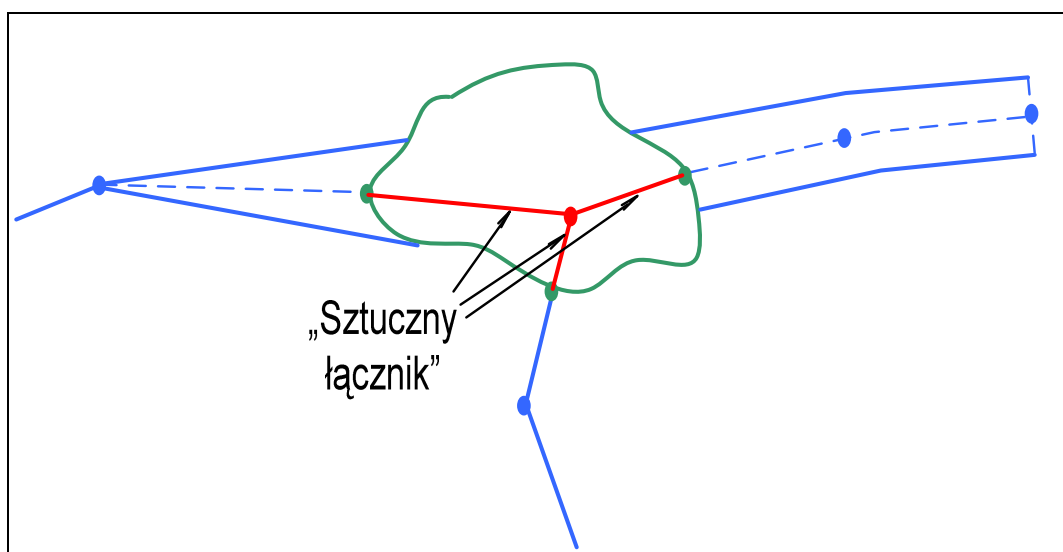
Odcinki rzek i kanałów są fragmentami rzek, strumieni i kanałów pomiędzy węzłami sieci hydrograficznej o jednorodnych atrybutach z punktu widzenia TBD (w przypadku zmiany jakiegokolwiek atrybutu następuje segmentacja odcinka cieków). Odcinki tworzą rzekę lub kanał, których atrybuty jako całości (np. nazwa, długość) przechowywane są w oddzielnej tabeli CIEKI zawierającej dane opisowe. Dla możliwości wykonywania analiz sieciowych muszą zaistnieć następujące warunki:

1. Oś cieków podrzędnego łączy się z osią cieków nadrzędnego – miejsce połączenia cieków jest miejscem segmentacji cieków nadrzędnego,
2. Jeżeli ciek nadrzędny posiada również reprezentację powierzchniową, oś cieków podrzędnego powinna zostać przerwana w miejscu przechodzenia przez linię brzegową cieków nadrzędnego – tworzony jest odcinek osi cieków podrzędnego biegnący od linii brzegowej do osi cieków nadrzędnego nazywany „sztucznym łącznikiem”(Rys. 35),
3. Jeżeli ciek przepływa przez zbiornik wodny to linia reprezentująca ciek jest prowadzona w obrębie zbiornika, pokazując najbardziej prawdopodobny przebieg cieków, a jeżeli zbiornik wody jest miejscem połączenia kilku cieków, to należy doprowadzić do połączenia osi cieków w obrębie zbiornika (tworzony jest węzeł końcowy cieków) – fragment cieków w obrębie zbiornika jest również oznaczany jako „sztuczny łącznik”(Rys. 36).

Zapewnienie warunku 1 powoduje tworzenie węzłów w miejscach połączenia cieków i będzie jednym z warunków niezbędnych dla na przeprowadzania procesu upraszczania kształtu i eliminacji cieków w sposób obiektywny i automatyczny (pozostałe warunki i przebieg procesu – omówione poniżej). Spełnienie warunku 2 i 3 będzie zachowywało ciągłość cieków przedstawianego w postaci osiowej i umożliwiałoby zarazem przeprowadzenie procesu upraszczania i eliminacji cieków oraz prezentację cieków w postaci osiowej lub powierzchniowej w zależności od skali opracowywanej mapy.



Rys. 35. Sposób reprezentacji osi cieków. Wykorzystanie „sztucznych łączników”



Rys. 36 Sposób reprezentacji osi cieków w obrębie zbiorników wodnych

Dla potrzeb prowadzenia procesu cyfrowej generalizacji sieci cieków, konieczne jest połączenie wszystkich odcinków rzek i kanałów w ciek, które następnie muszą zostać sklasyfikowane i zhierarchizowane. Aby było to możliwe należy dokonać zmian w zestawie atrybutów obligatoryjnych dla tej klasy obiektów. Poniżej przedstawiono strukturę danych dla sieci cieków wynikającą z wytycznych technicznych TBD (2003) wraz z wyróżnionymi na czerwono proponowanymi zmianami (Tab. 5 i 6).

Tab. 5. Struktura danych dla „Sieci cieków” – klasa „Odcinki rzek i kanałów”

SWRK_L – odcinki rzek i kanałów			
Nazwa atrybutu	Typ danych	Wy- maga- ne	Opis atrybutu, przykładowe wartości
ID	N(38)	TAK	Identyfikator obiektu
ID_CIEKU [CIEKI]	N(38)	TAK	Identyfikator ciek (całego)
RODZAJ [SL_RODZ_RZEK_K]	T(3)	TAK	Rz – rzeka, Kn – Kanał, St – strumień lub potok
STATUS_EKSLOATACJI [SL_ST_EK_CIEKOW]	T(3)	NIE	Informacja o żeglowności: Z – żeglowny, CZ – częściowo żeglowny, NZ – nieżeglowny
PRZEPLYW	N(3,1)	NIE	Prędkość przepływu na odcinku w m/s
SZEROKOSC	N(4,1)	NIE	Wypełniany dla kanałów, szerokość podawana w metrach
PRZEBIEG	N(1)	TAK	1 – ciek główny, 2 – ramię boczne
OKRESOWOSC	N(1)	TAK	0 – stały, 1 – okresowy
POLOZENIE	N(1)	TAK	0 – pod powierzchnią, 1 – na powierzchni
X_			Zestaw atrybutów specjalnych
KOLEJNOŚĆ	N(1)	TAK	Miejsce odcinka w cieku
TYP GEOMETRYCZNY: LINIA			

Tab. 6. Struktura danych dla „Sieci cieków” – tabela CIEKI

CIEKI			
Nazwa atrybutu	Typ danych	Wy- maga- ne	Opis kolumny, przykładowe wartości
ID	N(38)	TAK	Identyfikator obiektu
ID_HYDRO	N(38)	TAK	Identyfikator hydrograficzny
NAZWA	T(30)	NIE	Nazwa ciek
DLUGOSC	N(4,1)	NIE	Długość ciek w kilometrach z dokładnością do 100 m
X_KAT_DOK_ATRYB [SLX_KAT_DOKL]	N(3)	TAK	Kategoria dokładności atrybutowej
X_AKTUALNOSC_ATRYB	DT	TAK	Stan aktualności atrybutów obiektu

W tabeli 5 przedstawiono klasę „Odcinków rzek i kanałów” (SWRK), a w tabeli 6 schemat tabeli opisowej CIEKI, do której odwołuje się jeden z atrybutów obligatoryjnych klasy SWRK. Jest to atrybut ID_CIEKU, który przechowuje identyfikator całego ciek, do którego należy wybrany odcinek rzeki lub kanału. Wytyczne techniczne TBD dopuszczają pozostawienie tego atrybutu bez wartości, jednak z punktu widzenia procesu generalizacji sieci cieków, ten atrybut dla każdego odcinka rzeki lub kanału musi zostać określony. Dodatkowym atrybutem proponowanym dla odcinków rzek i kanałów jest atrybut KOLEJNOŚĆ,

który przechowuje miejsce danego odcinka w szeregu kolejnych odcinków dla całego ciek (od wartości 0- odcinek początkowy ciek, kolejno 1, 2, 3,... aż do odcinka końcowego). Jest to atrybut ułatwiający łączenie poszczególnych odcinków w całe cieki i może on zostać wprowadzony do bazy danych lub, jeżeli nie będzie wprowadzany to w serwerze aplikacji należy rozbudować algorytmy do tworzenia cieków z poszczególnych odcinków tak, aby na podstawie informacji topologicznych takich jak węzeł początkowy i węzeł końcowy kolejnych odcinków rzeki lub kanału, utworzyć wybrany ciek.

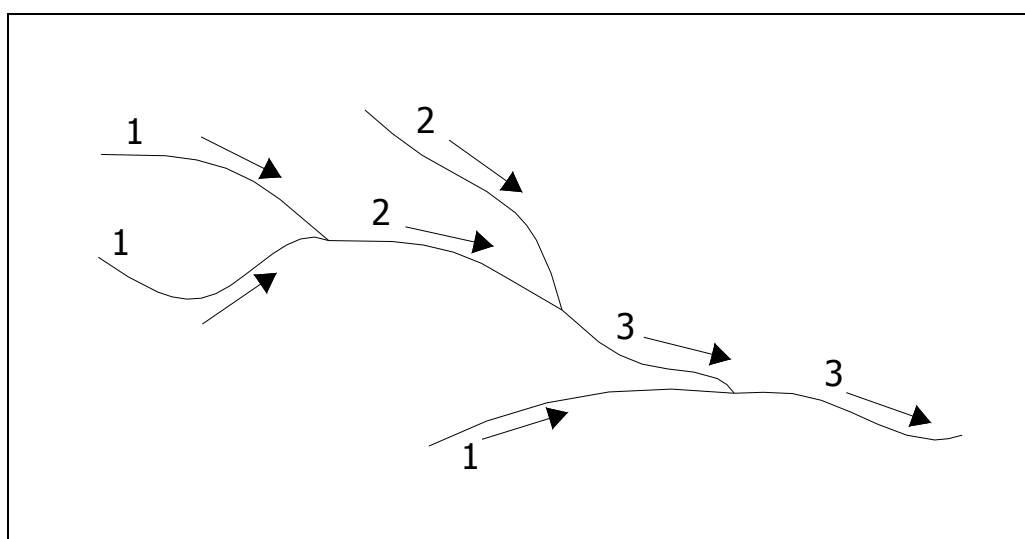
Tabela CIEKI gromadzi informacje opisowe dla cieków jako całości i z punktu widzenia procesu generalizacji ważny jest atrybut ID_HYDRO. Wytyczne techniczne TBD dopuszczają pozostawienie tego atrybutu bez wartości, lecz dla tworzenia hierarchizacji cieków będzie on niezbędny, dlatego został zaproponowany jako atrybut wymagany. Atrybut ID_HYDRO przechowuje informację o identyfikatorze hydrograficznym, zgodnym z danymi branżowymi IMGW. Zaleca się wprowadzenie tego identyfikatora do bazy danych, dla wszystkich cieków, dla których został on ustalony, a dla cieków nieposiadających go (są to np. strumienie, dopływy wyższych rzędów) zaleca się ustalenie tymczasowego identyfikatora za pomocą algorytmu opartego na klasyfikacji Strahlera, omówionej poniżej (ewentualnie, jeżeli użytkownik nie dysponuje identyfikatorami hydrograficznymi, zaleca się wprowadzenie tymczasowych identyfikatorów dla wszystkich cieków). Dzięki ustaleniu identyfikatorów dla wszystkich cieków będzie możliwe zhierarchizowanie całego zbioru tych obiektów.

6.1.1. Hierarchia cieków

Dla potrzeb przeprowadzania automatycznego procesu eliminacji i upraszczania kształtu cieków konieczne jest utworzenie cieków z poszczególnych odcinków rzek i kanałów a następnie ustalenie hierarchii wszystkich tych powstałych obiektów. Poniżej zostanie zaprezentowany sposób tworzenia cieków i ustalania ich hierarchii dla tych odcinków rzeki kanałów, dla których nie została określona przynależność do żadnego z cieków lub, dla których nie dysponujemy identyfikatorami hydrograficznymi. Cieki, dla których posiadamy te identyfikatory są zhierarchizowane i są wyżej w hierarchii niż cieki, dla których będziemy ustalać identyfikatory.

Algorytm dla hierarchizacji cieków został opracowany na bazie klasyfikacji sieci rzek według A.N.Strahlera (1964) (Rys. 37), w skrócie opierającej się na założeniach:

- każdy ciek początkowy jest określany jako segment 1 rzędu,
- połączenie cieków tego samego rzędu daje wynikowy ciek o stopień wyższy (np. połączenie cieków 1-go rzędu daje ciek 2-go rzędu),
- połączenie cieków o różnych rzędach daje w wyniku ciek o rzędzie najniższym spośród rzędów cieków łączących się,
- strumień główny posiada najwyższy rząd w całym systemie.



Rys. 37. Klasyfikacja sieci rzek według Strahlera (1964)

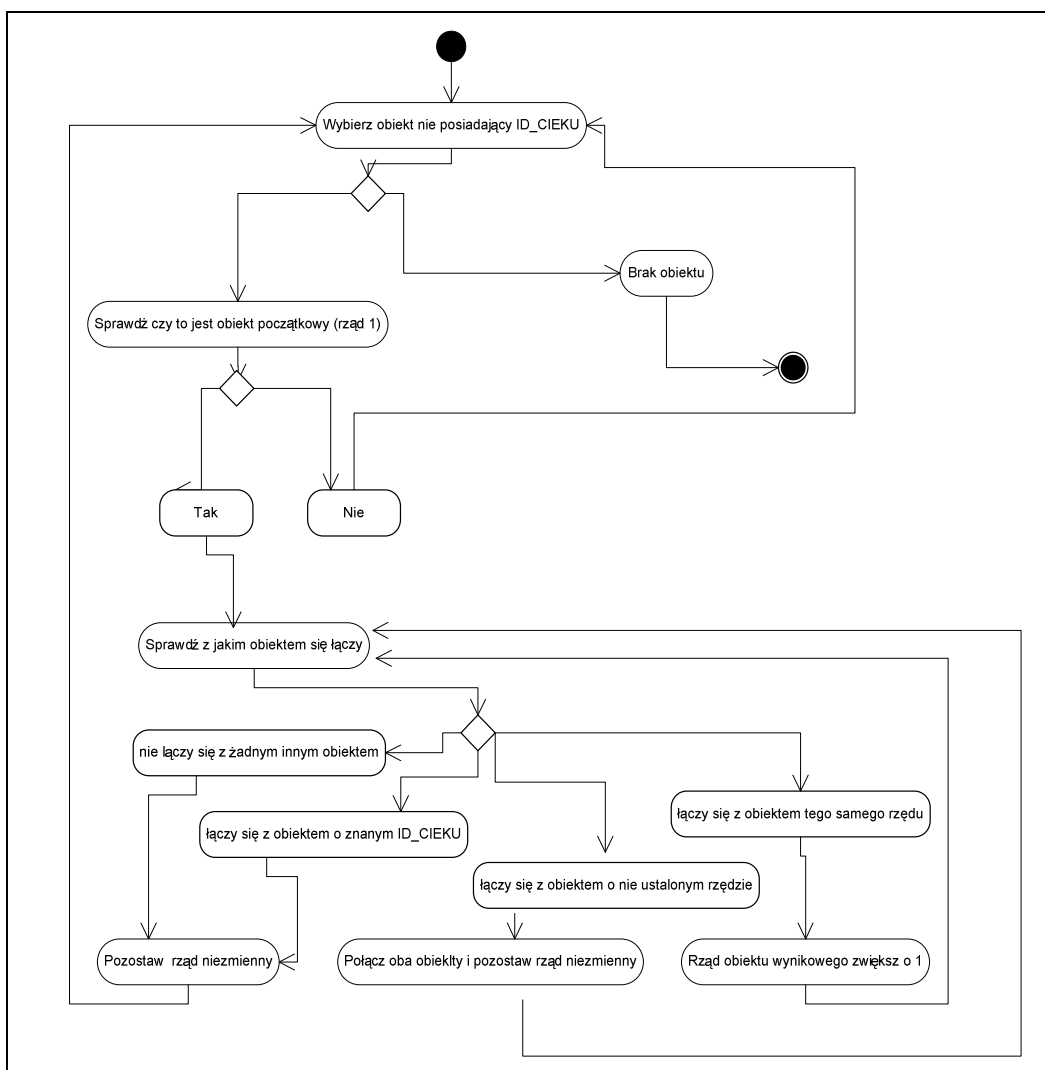
Etapy proponowanego algorytmu dla tworzenia i hierarchizacji cieków są następujące:

ETAP I - ustalenie rzędu poszczególnych odcinków rzek i kanałów (schemat algorytmu¹⁵ przedstawia rysunek 38):

1. Wybór spośród obiektów klasy SWRK tych odcinków, które nie posiadają ustalonego cieku, do którego przynależą lub nie posiadają identyfikatora hydrograficznego dla cieku, do którego należą.
2. Spośród obiektów wyszczególnionych w punkcie 1 wybór odcinków początkowych, przypisanie im rzędu 1 i jeżeli dany odcinek:

¹⁵ Schemat algorytmu – w prezentacji wszystkich algorytmów zawartych w pracy wykorzystano standard UML Activity Diagram

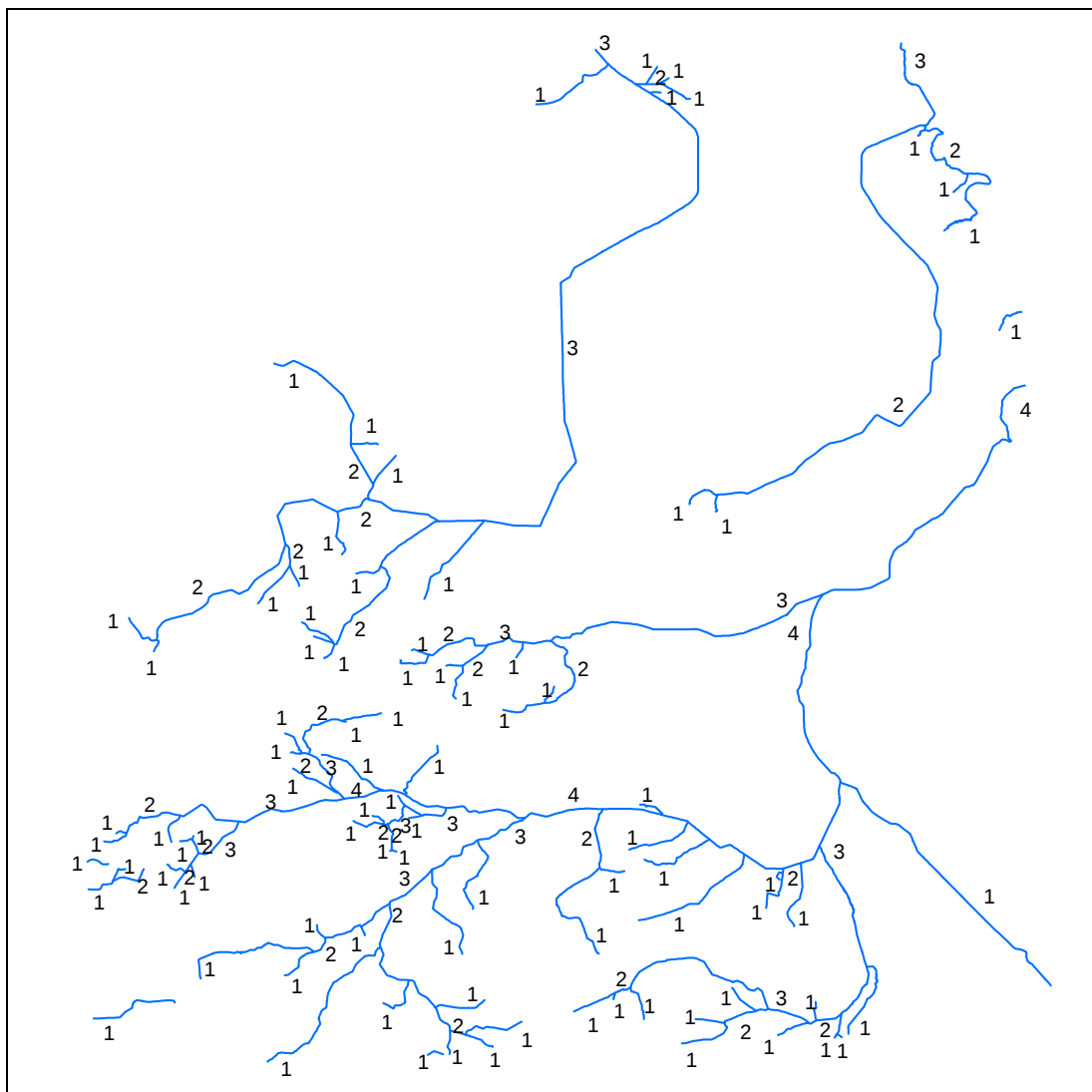
- nie łączy się z innym odcinkiem → zostaje niezmienny rząd tego odcinka, czyli 1,
- łączy się z innym odcinkiem, dla którego jeszcze nie został przypisany rząd → dla utworzonego segmentu z tych połączonych odcinków zostaje rząd zgodny z rzędem badanego odcinka czyli 1 i należy sprawdzić dalej z jakim odcinkiem się łączy (powrót na start punktu 2),
- łączy się z innym odcinkiem rzędu 1 → rząd odcinka wynikowego zostaje podniesiony o jeden stopień czyli uzyskuje wartość 2,
- łączy się z ciekim o znanym ID_HYDRO → rząd odcinka pozostaje niezmienny czyli 1.



Rys. 38. Schemat algorytmu dla ustalenia rzędu obiektów klasy SWRK

3. Wybór kolejno odcinków cieków rzędu 2, 3, 4, itd. i sprawdzanie poszczególnych warunków jak w punkcie 2.
4. Koniec procesu następuje, jeżeli zostaną sprawdzone wszystkie obiekty wyszczególnione w punkcie 1.

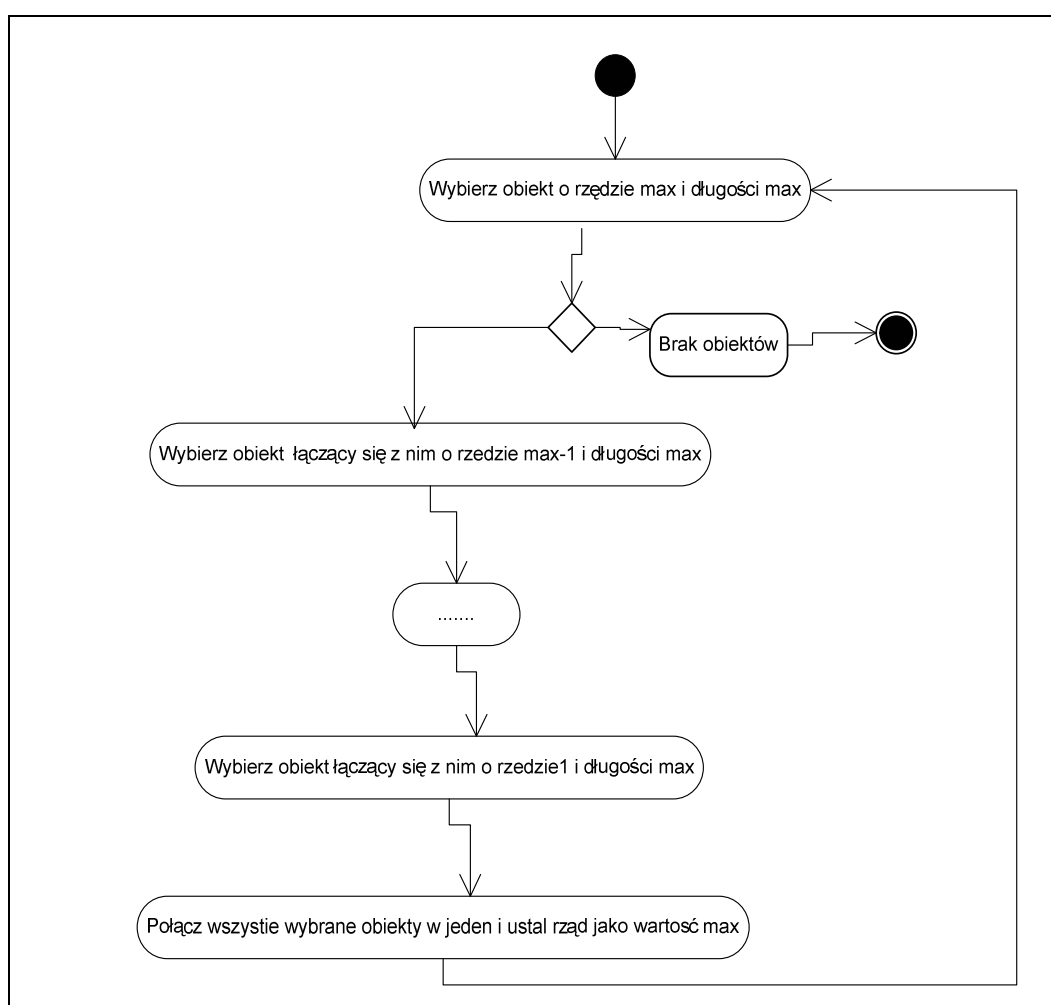
Ustalenie rzędu poszczególnych odcinków rzek i kanałów dla przykładowych danych zawartych w TBD zostało przedstawione na rysunku 39.



Rys. 39. Ustalenie rzędu poszczególnych odcinków rzek i kanałów dla przykładowych danych zawartych w TBD

ETAP II – utworzenie cieków o ustalonym rzędzie (schemat algorytmu przedstawia rysunek 40):

1. Wybór spośród odcinków o ustalonym rzędzie tych o największym rzędzie i maksymalnej długości.
2. Wybór łączących się z nimi kolejno obiektów o niższych rzędach tak, aby dojść do odcinków początkowych o rzędzie 1 – jeżeli dla wyszczególnionego obiektu zostanie wybrane kilka łączących się z nim obiektów niższego rzędu to wówczas wybrać należy najdłuższy z nich, a dla pozostałych ustalić przebieg cieku rozpoczynając procedurę od punktu 1.



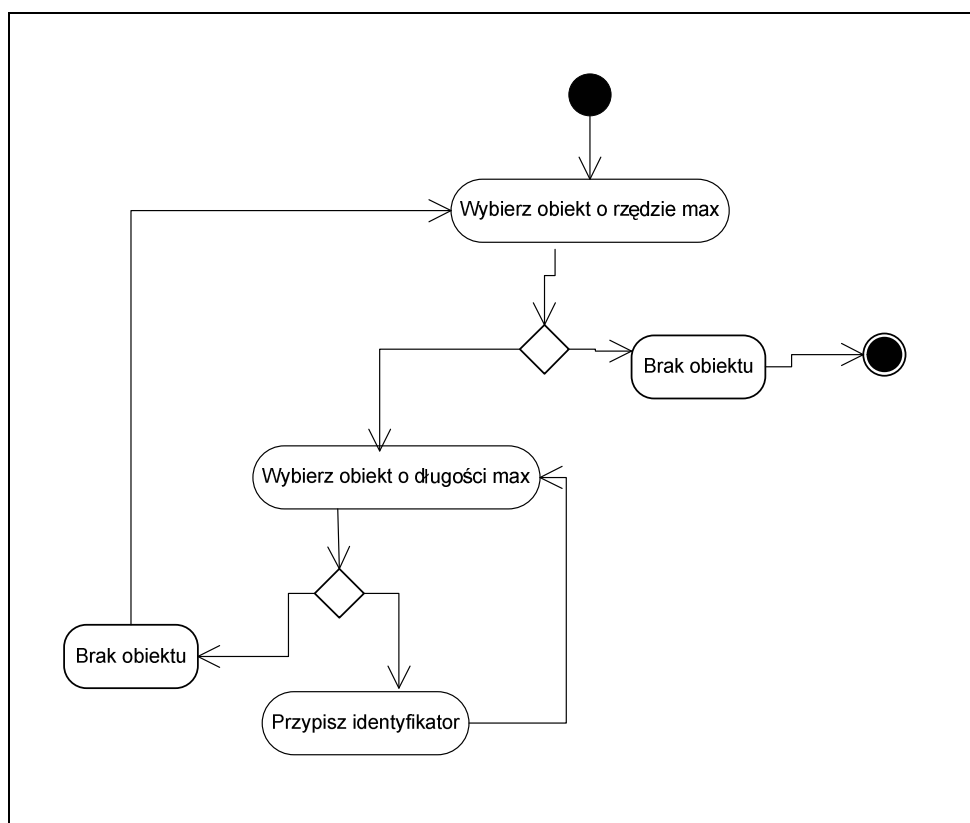
Rys. 40. Schemat algorytmu dla tworzenia cieków o ustalonym rzędzie

3. Tak utworzony ciek (od odcinka o najwyższym rzędzie do odcinka początkowego) otrzymuje rząd zgodny z najwyższym rzędem odcinka spośród odcinków go tworzących.

4. Koniec procesu następuje, jeżeli zostaną połączone wszystkie możliwe odcinki w ciek o określonym rzędzie.
5. Zapisanie informacji o utworzonych ciekach w tabeli CIEKI, oraz przypisanie odpowiednich informacji poszczególnym odcinkom klasy SWRK w atrybutach ID-CIEKU i KOLEJNOŚĆ.

ETAP III –ustalenie identyfikatora dla utworzonych cieków (schemat algorytmu przedstawia rysunek 41)

1. Hierarchiczne usystematyzowanie cieków o poszczególnych rzędach wg ich długości - kolejno ciek o najwyższym rzędzie i malejących długościach, następnie ciek o rzędach kolejno niższych i malejących długościach, aż do odcinków rzędu 1-ego.

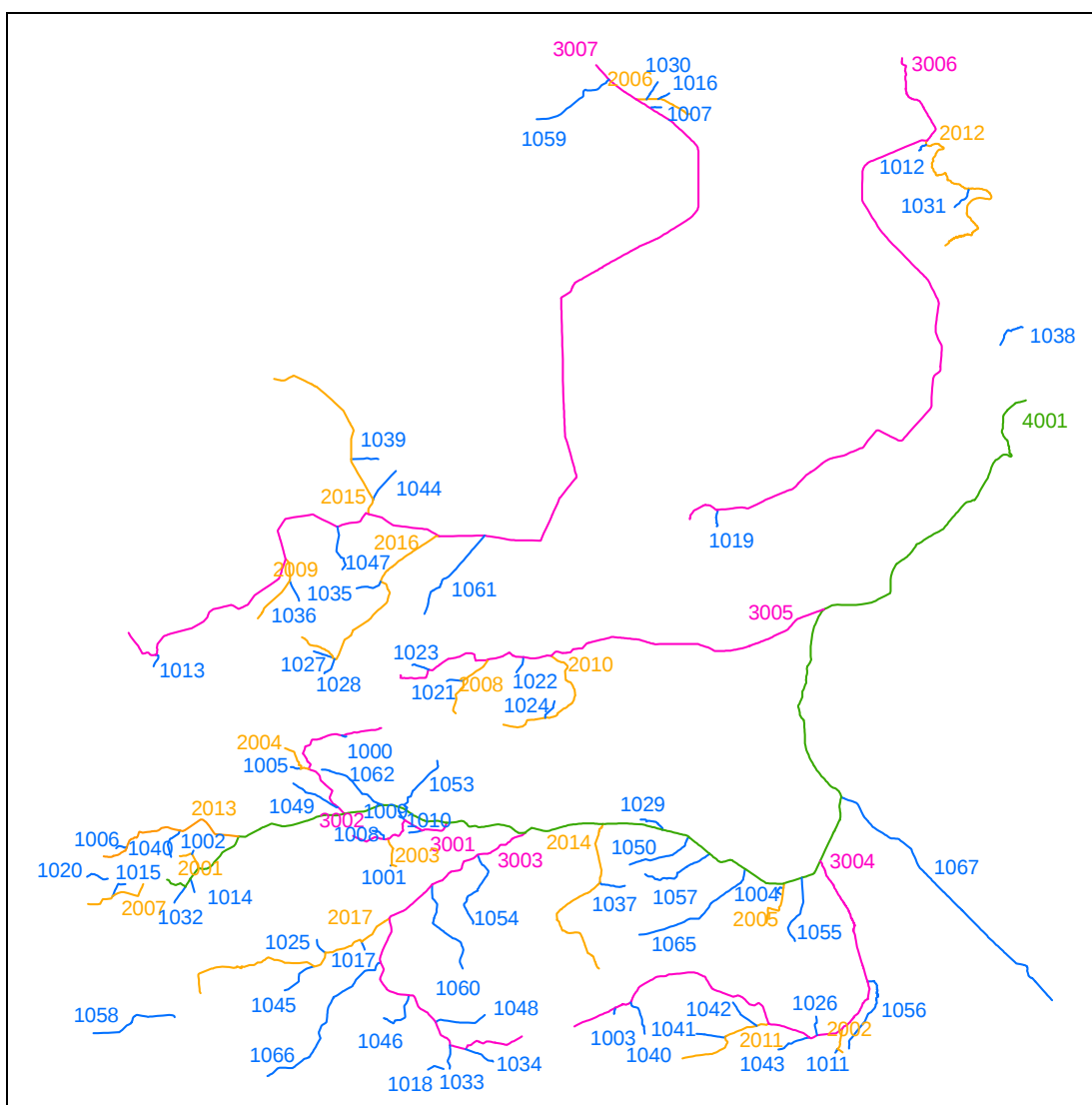


Rys. 41. Schemat algorytmu dla ustalenia identyfikatora dla utworzonych cieków

2. Przypisanie zhierarchizowanym ciekom identyfikatorów wg dowolnie przyjętej konwencji np. kolejnym ciekom z hierarchii, idąc od najmniej istotnych, identyfikatory numeryczne:
 - 1001,1002,... – ciek I-szego rzędu,

- Czym większy identyfikator tym ważniejszy ciek.

Ustalenie identyfikatora dla utworzonych cieków z odcinków o określonym rzędzie dla przykładowych danych zawartych w TBD zostało przedstawione na rysunek 42.

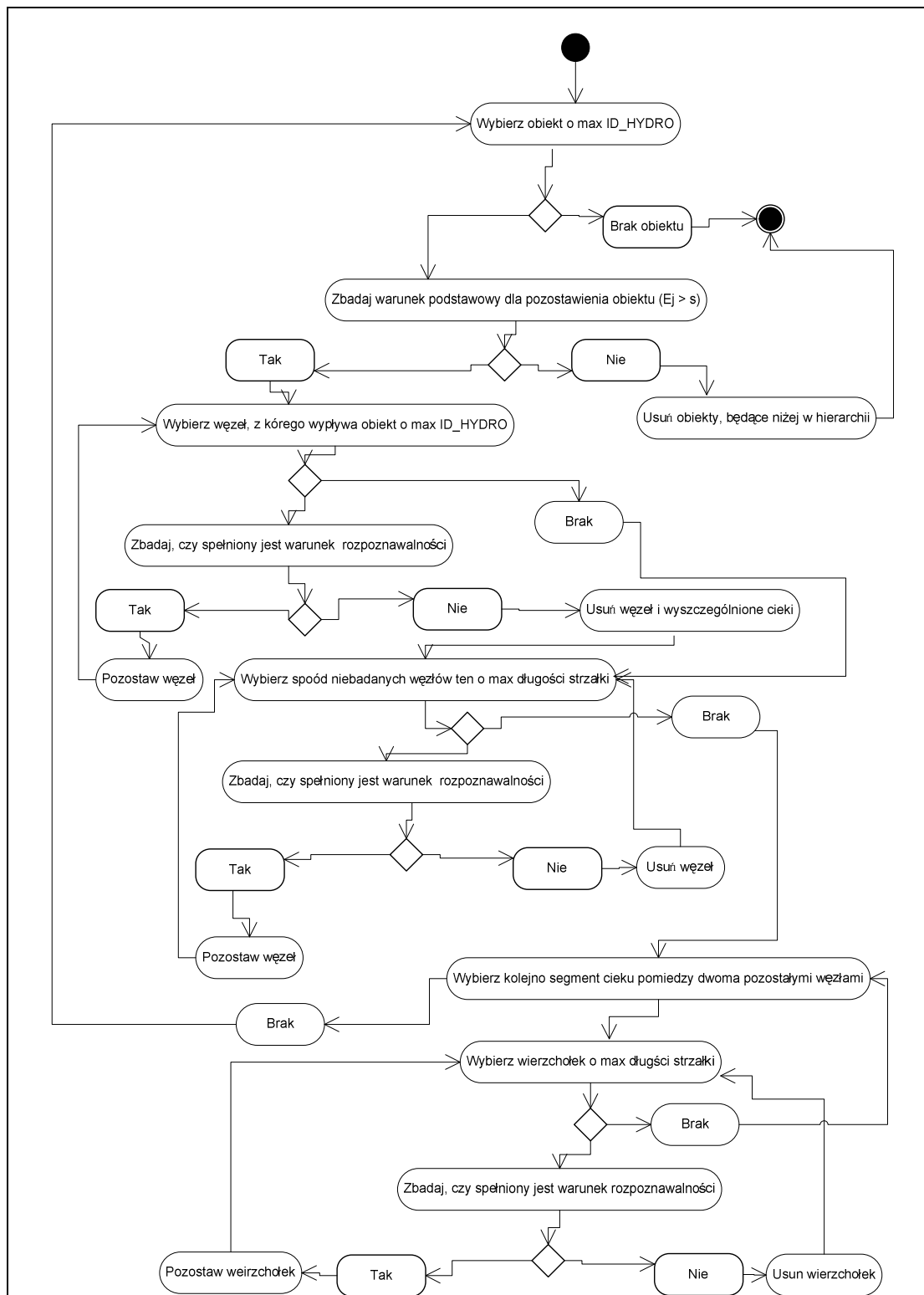


6.1.2. Proces generalizacji

Proces eliminacji i upraszczania obiektów sieci cieków opiera się na algorytmie upraszczania linii łamanych otwartych (Chrobak, 1999). Dla wykorzystania tego algorytmu wszystkie odcinki rzek i kanałów muszą zostać połączone w zhierarchizowane cieki, które następnie będą podlegały procesowi generalizacji. Należy także, wcześniej wykonać proces generalizacji obiektów powierzchniowych klasy „Obszary wód”. Będziemy wówczas dysponować obszarami wód, które będą przedstawiane na tworzonej mapie. Na tej podstawie konieczne będzie spośród węzłów należących do osi poszczególnych cieków wyszczególnienie tych, które będą stanowiły punkty graniczne osi cieków z wyselekcjonowanymi obszarami wód. Węzły te będą punktami granicznymi między segmentami cieku przedstawianymi w postaci osiowej a fragmentami cieku pokazywanymi w postaci powierzchniowej lub zbiornikami wód. Aby algorytm mógł zostać wykorzystany dla przeprowadzania procesu eliminacji i upraszczania osi cieków należało wprowadzić następujące modyfikacje:

- badanie poszczególnych cieków odbywa się wg ich ważności wynikającej z hierarchii tych obiektów – wg ID_HYDRO,
- w kolejnych ciekach sprawdzane są na wstępie poszczególne węzły, które są miejscem połączenia cieków wg ważności cieków (dopływów) z nich wypływających, a nie wg kryterium maksymalnej strzałki,
- następnie badane są poszczególne węzły, które zostały wybrane jako punkty łączące osie cieków z obszarami wód – wg kryterium maksymalnej strzałki,
- kolejno procesowi podlegają węzły wynikające z segmentacji cieku na odcinki – wg kryterium maksymalnej strzałki,
- na końcu badane są poszczególne wierzchołki w odcinkach cieków – wg kryterium maksymalnej strzałki,
- na przebieg procesu ma wpływ charakter sieci cieków - sieć w postaci dendrytów (wyjątkiem są cieki połączone kanałami) – usunięcie danego cieku powoduje automatycznie eliminację jego dopływów i ich dopływów.

Przebieg procesu eliminacji i upraszczania kształtu osi cieków następuje kolejno wg hierarchii ważności cieków i charakteryzuje się następującymi etapami (schemat algorytmu przedstawia rysunek 43):



Rys. 43. Schemat algorytmu dla procesu eliminacji i upraszczania kształtu osi cieków

1. Sprawdzenie warunku podstawowego decydującego o eliminacji lub pozostawieniu ciek - czy odległość między węzłem początkowym i końcowym ciek jest mniejsza czy większa od zakładanej odległości umożliwiającej

zachowanie rozpoznawalności cieków na opracowywanej mapie, czyli zgodnie ze wzorem (11) czy spełniony jest warunek, że $\varepsilon_j \leq s_j$

W przypadku usunięcia danego cieków, eliminacji automatycznie podlegają cieków będące niżej w hierarchii.

2. Spełnienie warunku 1 pozwala na rozpoczęcie procesu upraszczania kształtu wybranego cieków, które polega na zbadaniu poszczególnych węzłów i wierzchołków osi cieków, czy spełniają warunek trójkąta elementarnego zgodnie z założeniami algorytmu upraszczania linii łamanych otwartych (Chrobak, 1999). Przebieg algorytmu jest następujący:

- sprawdzenie kolejno węzłów, które są miejscami połączenia badanego cieków z innymi ciekami według hierarchii ważności cieków z tych węzłów wpływających.

Usunięcie węzła powoduje eliminację:

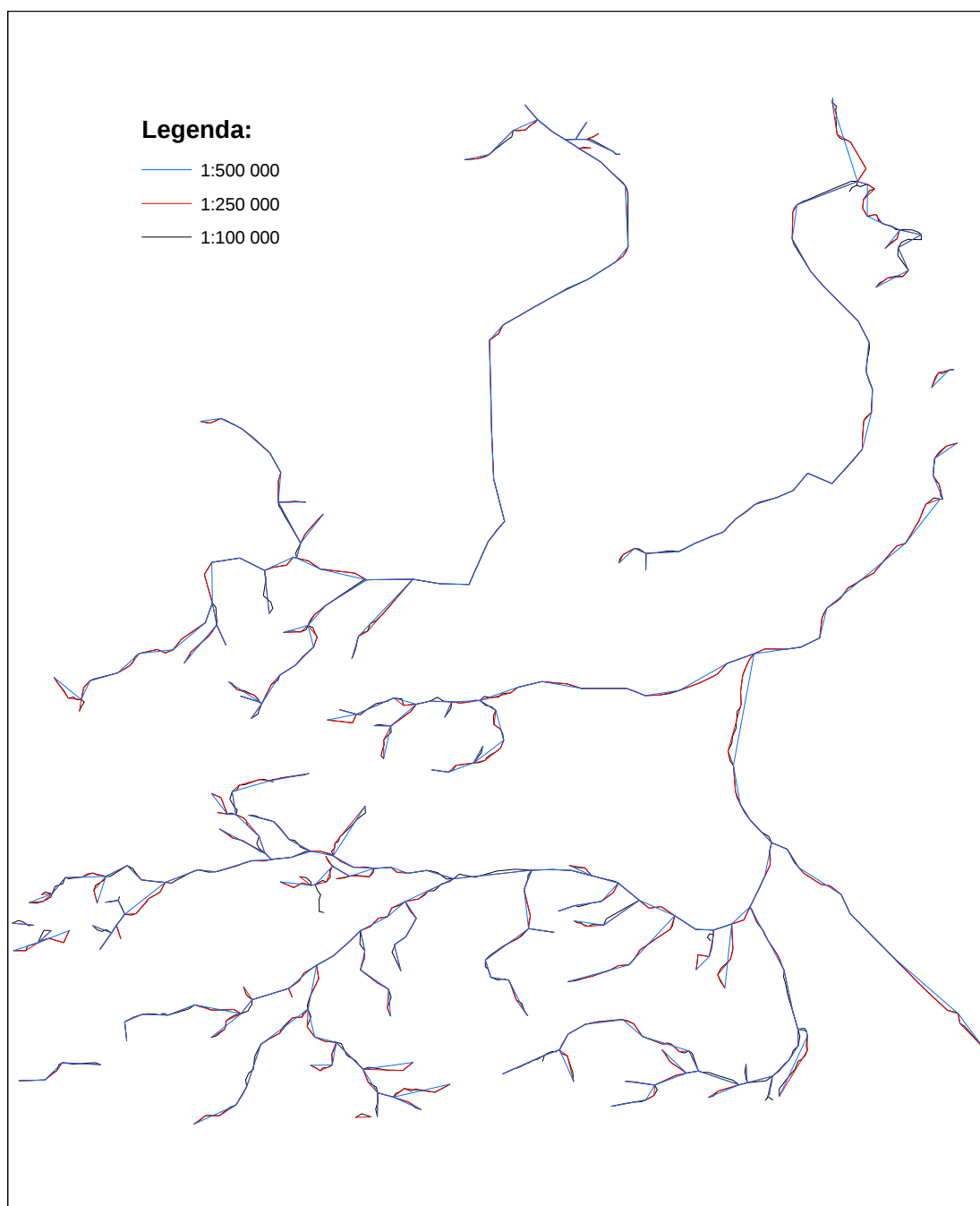
- wpływającego z niego dopływu i jego dopływów,
- pozostałych dopływów badanego cieków będących niżej w hierarchii niż ciek, który wpływał z badanego węzła.

- zbadanie węzłów, które zostały wybrane jako punkty łączące osie cieków z obszarami wód oraz węzłów, których istnienie wynika z segmentacji cieków na odcinki - wg kolejności wynikającej z kryterium maksymalnej strzałki.

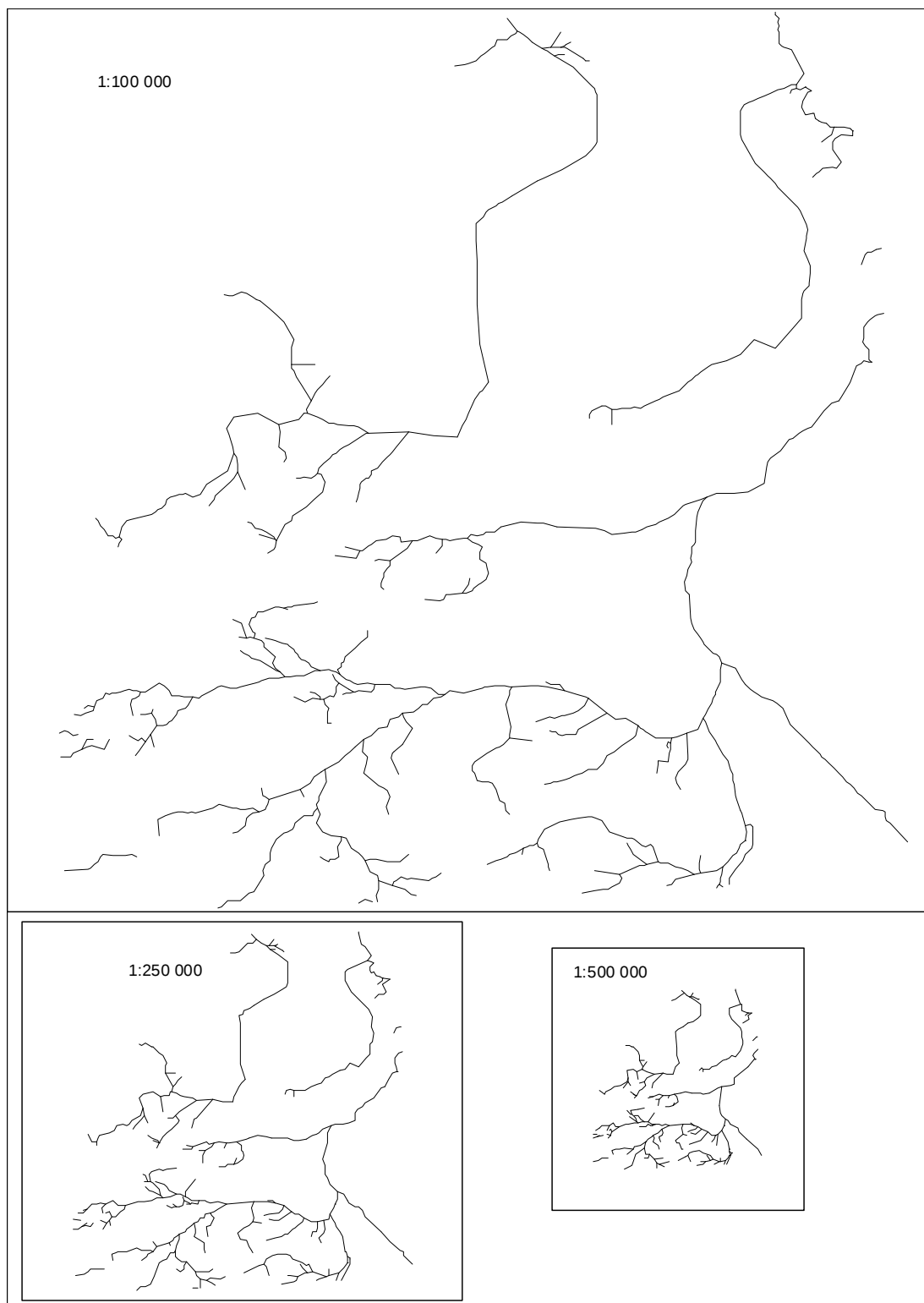
Usunięcie danego węzła, spośród węzłów, które łączyły oś cieków z obszarem wody pociąga konieczność zmiany w granicach obszaru wody.

- sprawdzenie poszczególnych wierzchołków w segmentach pomiędzy pozostałymi w procesie węzłami wg kryterium max strzałki.

Przykład przeprowadzonego procesu generalizacji dla obiektów superklasy SWRK_L dla skali mapy: 1:100000, 1:250000, 1:500000 – przedstawiają rysunki 44, 45. Na rysunku 44 zostały pokazane w skali 1:100000 wynikowe dane uzyskane dla zadanych skal. Zostały one przedstawione łącznie, tylko różnymi kolorami tak, aby zaobserwować jak zachodzi proces generalizacji przy zmniejszającej się skali opracowania. Na rysunku 45 zostały pokazane te same dane tylko w odpowiednich skalach tak, aby można było spojrzeć na nie pod kątem rozpoznawalności treści.



Rys. 44. Obiekty superklasy SWRK_L po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali mapy:
1:100000, 1:250000, 1:500000 – przedstawione w skali 1:100000



Rys. 45. Obiekty superklasy SWRK po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali mapy:
1:100000, 1:250000, 1:500000 - przedstawione w odpowiednich skalach

Po przeprowadzonym procesie eliminacji i upraszczania kształtu osi cieków można określić sposób wizualizacji poszczególnych obiektów. W tym celu wykorzystujemy algorytm ustalania wizualizacji obiektów TBD omówiony w rozdziale 5.3.2 na podstawie którego stosujemy wzór (13), w którym wprowadzamy odpowiednie wartości za zmienne n_0 i n_i . Ustalenie metody prezentacji osi cieków możemy przeprowadzić w dwojaki sposób:

- określenie jednolitego sposobu prezentacji wszystkich osi cieków na całym obszarze opracowywanej mapy – wszystkie osie cieków jako linie łamane, wygładzone lub w postaci symbolu.

Do wzoru (13) za wielkości n_0 i n_i wstawiamy:

- n_0 – łączna liczba węzłów i wierzchołków we wszystkich osiach cieków pierwotnych (przed procesem generalizacji),
 - n_i – łączna liczba węzłów i wierzchołków we wszystkich osiach cieków po przeprowadzonym procesie upraszczania i eliminacji.
- ustalenie indywidualnej metody wizualizacji poszczególnych osi cieków – każdy ciek może być przedstawiony inaczej, czyli w postaci linii łamanej, wygładzonej lub symbolicznie.

Każdorazowo dla poszczególnych cieków wyznaczamy ze wzoru (13) wielkość K_i wprowadzając za wielkości n_0 i n_i :

- n_0 – łączna liczba węzłów i wierzchołków w osi wybranego cieku pierwotnego (przed procesem generalizacji),
- n_i – łączna liczba węzłów i wierzchołków w osi danego cieku po przeprowadzonym procesie upraszczania i eliminacji.

6.2. Budowle i urządzenia

„Budowle i urządzenia”(BB) to superklasa, do której zgodnie z Wytycznymi technicznymi TBD (2003) zalicza się wszelkiego rodzaju budowle istotne z punktu widzenia topograficznego ujęcia terenu, czyli m.in. budynki mieszkalne i niemieszkalne, budowle przemysłowe i gospodarcze niebędące budynkami, budowle hydrotechniczne, urządzenia techniczne, ogrodzenia, itd. Poszczególne klasy i obiekty tej superklasy mogą być różnych typów geometrycznych:

- OBSZAR – klasy: „Budynki”, „Zbiorniki techniczne”, „Wysokie budowle techniczne”, „Budowle sportowe”, „Umocnienia drogowe i kolejowe”, „Inne urządzenia techniczne”, „Budowle cmentarne”, „Inne budowle”;
- LINIA – klasy: „Budowle ziemne”, „Budowle mostowe”, „Urządzenia transportowe”, „Budowle hydrotechniczne”, „Umocnienia wodne”, „Umocnienia drogowe i kolejowe”, „Ogrodzenia”;
- PUNKT – klasy: „Zbiorniki techniczne”, „Urządzenia transportowe”, „Wysokie budowle techniczne”, „Budowle hydrotechniczne”, „Inne urządzenia techniczne”.

Obiekty typu punktowego zgodnie z założeniami przedstawionymi na wstępie rozdziału 6 nie będą poddawane analizie. Obiekty typu liniowego i powierzchniowego będą podlegały generalizacji opartej na omówionych wcześniej procesach eliminacji i upraszczania linii łamanych otwartych i zamkniętych (rozdz.5.3.1) oraz ustalania ich metody wizualizacji (rozdz. 5.3.2). Poniżej zostanie zaprezentowany proces generalizacji klasy „Budynki”, w którym wykorzystano algorytmy wspomniane powyżej z dodatkowymi warunkami. Jest to spowodowane specyfiką tych obiektów – budynki w większości charakteryzują się kształtem prostokątnym sąsiednich boków i proces upraszczania powinien zachowywać tę geometrię boków. Drugim warunkiem mającym wpływ na sposób przeprowadzania procesu generalizacji budynków jest zmiana metody prezentacji zabudowy w miarę zmniejszania się skali opracowywanej mapy. Na mapie topograficznej w skali 1:10000 zabudowa przedstawiana jest w postaci konturów budynków lub ich symboli, natomiast w mniejszych skalach map topograficznych stopniowo przechodzi się na prezentację terenów zabudowy rezygnując z przedstawiania poszczególnych budynków. W związku z tymi dwoma warunkami dla procesu generalizacji obiektów klasy „Budynki”, przedstawiony zostanie przebieg procedur generalizacji.

Dla pozostałych klas (typu powierzchniowego) należących do superklasy „Budowle i urządzenia” można wykorzystać te same procedury generalizacji bez uwzględniania dodatkowych założeń ustalonych dla klasy „Budynki”.

6.2.1. Budynki

W Wytycznych technicznych TBD (2003) budynki zostają zdefiniowane jako obiekty budowlane, trwale związane z gruntem, wydzielone z przestrzeni za pomocą przegród budowlanych i posiadające fundamenty i dach. Do bazy danych wprowadza się wszystkie budynki mieszkalne (obiekty budowlane, których co najmniej połowa całkowitej powierzchni użytkowej wykorzystywana jest do celów mieszkalnych) oraz wszelkie budynki niemieszkalne odosobnione, gdyż stanowią one treść mapy topograficznej w skali 1:10000. W bazie danych budynki są przedstawiane zawsze jako obiekty powierzchniowe – na mapie zostaną przedstawione w postaci konturu lub symbolu. W bazie danych blisko stojące budynki zostają zapisane oddzielne nawet, jeżeli odległość pomiędzy nimi jest zbyt mała do pokazania na mapie – na mapie zostaną one połączone. W bazie danych stosowana jest również odmienna klasyfikacja budynków niż na mapie topograficznej. Szczegółową klasyfikację obiektów klasy „Budynki”(BBBD) przedstawia tabela 7.

Tab. 7. Klasyfikacja obiektów klasy „Budynki” (Wytyczne techniczne TBD,2003)

BB	Budowle i urządzenia	BB BD	Budynki	BB BD 01	Budynek mieszkalny
				BB BD 02	Budynek przemysłowy
				BB BD 03	Budynek transportu, łączności
				BB BD 04	Budynek handlowy, usługowy
				BB BD 05	Budynek magazynowy zbiornik, silos
				BB BD 06	Budynek biurowy
				BB BD 07	Budynek ochrony zdrowia, opieki socjalnej
				BB BD 08	Budynek oświaty, nauki, kultury, sportu
				BB BD 09	Budynek gospodarczo –produkcyjny dla rolnictwa
				BB BD 10	Budynek sakralny
				BB BD 11	Inny budynek niemieszkalny

Klasyfikację tę determinuje jeden z wymaganych atrybutów dla obiektów klasy BBBD, czyli FUNKCJA_OGÓLNA. Na mapie topograficznej budynki dzieli się pod względem funkcjonalnym na cztery kategorie:

- budynki mieszkalne,

- budynki niemieszkalne,
- budynki użyteczności publicznej,
- budynki przemysłowe.

Jako uzupełniające stosuje się kryterium fizjonomiczne, według którego budynki mieszkalne różnicuje się na budynki wielorodzinne i jednorodzinne (w bazie danych określa to atrybut FUNKCJA_SZCZEGÓŁOWA). Dodatkowo wyróżnia się budynki wysokie (powyżej 11 kondygnacji): mieszkalne, użyteczności publicznej i przemysłowe (w bazie danych nie zostają one wyróżnione, lecz można je wyodrębnić dzięki istnieniu atrybutu L_KONDYGNACJI).

W TBD zostaje dodatkowo wprowadzona klasa „Tereny zabudowy” (PKZB) należąca do superklasy „Kompleksy pokrycia terenu” (PK). Jest to bardzo znacząca różnica w stosunku do mapy topograficznej w skali 1:10000, na której zabudowa jest przedstawiana wyłącznie w postaci budynków a nie obszarów zabudowy. Wydzielenia w bazie danych terenów zabudowanych odpowiadają w znacznej części metodzie wyróżniania obszarów zabudowy na mapie topograficznej w skali 1:50000. Można zauważyć, że zabudowa jest tym elementem treści map topograficznych, który ulega znaczącym zmianom w ciągu skalowym tych map. Na mapie topograficznej w skali 1:10000 zabudowa prezentowana jest wyłącznie za pomocą sygnatur lub konturów poszczególnych budynków lub budowli, natomiast na mapach topograficznych w mniejszych skalach pokazuje się zarówno poszczególne budynki jak i stosuje się oznaczenia powierzchniowe dla obszarów zabudowanych. W związku z tym w TBD współistnieją klasy umożliwiające przedstawienie zabudowy na różnych poziomach uogólnienia i zapewnienie możliwości integracji danych właściwych różnym poziomom uogólnienia. Są to „Tereny zabudowy” o charakterystyce odpowiadającej poziomowi szczegółowości mapy topograficznej w skali 1:50000 i „Budynki” właściwe dla poziomu szczegółowości mapy topograficznej w skali 1:10000. Zasadniczym, zatem problemem w procesie redakcji map topograficznych w skalach mniejszych niż 1:10000 jest kwestia - które budynki pokazywać konturem lub za pomocą sygnatur, a które zgrupowania budynków przedstawić jako obszary zabudowane. Zabudowę miejską z przewagą budynków mieszkalnych oraz wiejską zabudowę zagrodową przedstawia się albo za pomocą znaków pojedynczych budynków lub zagród, albo jako obszary zabudowane, w zależności od gęstości przede wszystkim budynków mieszkalnych. Oznaczane na mapie budynki mieszkalne nie podlegają w zasadzie generalizacji ilościowej.

Natomiast budynki przemysłowe, budynki użyteczności publicznej oraz zespoły innych budynków niemieszkalnych przedstawia się zawsze za pomocą znaków pojedynczych budynków. W wypadku znacznego zagęszczenia podlegają one generalizacji ilościowej, przy której bierze się pod uwagę sposób wykorzystania i wielkość budynków oraz odległość między nimi.

Poniżej zostanie zaprezentowany sposób generalizacji budynków, opierający się na ustaleniu rozpoznawalności poszczególnych obiektów dla wybranej skali mapy topograficznej i określeniu na tej podstawie metody prezentacji zabudowy – w postaci konturów budynków, ich symboli lub w postaci obszaru zabudowy. W procesie generalizacji budynków zostaje wykorzystany algorytm upraszczania linii łamanych zamkniętych omówiony w rozdziale 5.3.1.2 oraz procedura ustalania sposobu wizualizacji obiektów wyjaśniona w rozdziale 5.3.2. W procesie zastosowane zostają również regiony drogowe utworzone według algorytmów omówionych w rozdziale 5.3.3.

Istota prowadzenia procesu generalizacji budynków dla określonej skali mapy topograficznej jest następująca:

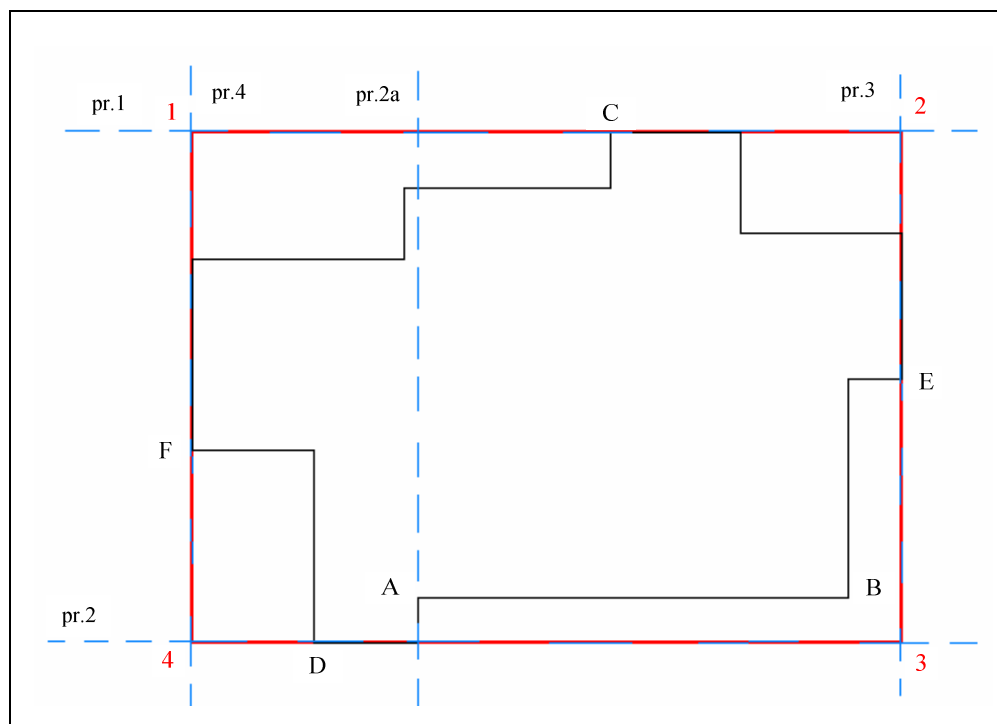
- a) Dane wejściowe procesu zgromadzone w TBD to: superklasa „Budowle i Urządzenia” a w niej klasa „Budynki” (dokładność właściwa dla mapy topograficznej w skali 1:10000), superklasa „Kompleksy Pokrycia Terenu” a w niej klasa „Tereny Zabudowy” (dokładność właściwa dla mapy topograficznej w skali 1:50000).
- b) Wygenerowanie regionów drogowych (na podstawie danych TBD zgromadzonych w superklasie „Sieci Dróg i Kolei”), sklasyfikowanie ich i dokonanie eliminacji regionów, które nie spełniają kryterium rozpoznawalności. Ma to na celu ustalenie regionów elementarnych, które będą stanowiły podstawę dla przeprowadzania procesu generalizacji zabudowy. Należy ustalić przynależność poszczególnych budynków i terenów zabudowy do wyszczególnionych regionów elementarnych. W przypadku eliminacji danego regionu elementarnego z powodu niemożności jego rozpoznawalności w zadanej skali mapy topograficznej, należy automatycznie dokonać eliminacji należących do niego terenów zabudowy i budynków, gdyż oczywiście też nie będą one rozpoznawalne w zadanej skali.
- c) Dokonanie upraszczania kształtu poszczególnych budynków i określenia ich metody wizualizacji.

6.2.1.1 Proces generalizacji

Proces generalizacji obiektów klasy „Budynki” obejmuje następujące etapy (schemat algorytmu przedstawia rysunek 50):

1. Określenie przynależności poszczególnych budynków do terenów zabudowy i utworzonych regionów elementarnych. W tym celu należy utworzyć dodatkowe atrybuty dla obiektów klasy „Budynki”, które będą przechowywały odniesienia do obiektów klasy „Tereny zabudowy” oraz utworzonych regionów elementarnych (przykładowo atrybuty przechowujące `ID_TERENU_ZABUDOWY` oraz `ID_REGIONU_ELEM`, do których przynależy dany budynek). Oczywiście można zrezygnować z dodatkowego poszerzania atrybutów wymaganych dla budynków i każdorazowo w procesie generalizacji dokonywać wyboru odpowiednich budynków należących do zadanych regionów elementarnych i obszarów zabudowy.
2. Łączenie obiektów o wspólnej krawędzi w poszczególnych regionach elementarnych i ustalenie atrybutów dla nowo powstałych obiektów (dalej będą one traktowane jako obiekty pierwotne) – dla każdego atrybutu typu tekstowego (np. `FUNKCJA_OGÓLNA`) wybieramy przeważającą wartość atrybutu spośród wartości atrybutów budynków łączonych ustalaną wg powierzchni poszczególnych obiektów, dla atrybutów typu numerycznego (np. `WYSOKOŚĆ_M`) ustalamy średnią arytmetyczną spośród wartości atrybutów obiektów łączonych.
3. Wstępna eliminacja obiektów.

Dla każdego z obiektów należy utworzyć „prostokąt zewnętrzny”, czyli taki prostokąt, dla którego wszystkie wierzchołki budynku pierwotnego będą leżały w jego wnętrzu lub na jego bokach oraz zostanie zachowany warunek niezmienności kierunku jednego z jego boków w stosunku do kierunku najdłuższego boku budynku pierwotnego. Dla utworzonego prostokąta należy sprawdzić czy jego boki nie są także mniejsze od miary progowej rozpoznawalności rysunku linii łamanej w określonej skali. Jeżeli warunek nie zostaje spełniony to znaczy, że należy budynek pierwotny usunąć, bo nie będzie on po przeprowadzonym procesie upraszczania widoczny w zadanej skali mapy. „Prostokąt zewnętrzny” przykładowo można utworzyć w następujących etapach (Rys. 46):



Rys. 46. Etapy tworzenia prostokąta zewnętrznego

- wybór z budynku pierwotnego najdłuższego boku (wierzchołki A,B),
- wybór spośród wierzchołków budynku pierwotnego wierzchołka o największej odległości prostopadłej od boku AB (wierzchołek C) i utworzenie prostej równoległej do boku AB przechodzącej przez wierzchołek C – prosta 1,
- wybór spośród wierzchołków budynku pierwotnego wierzchołka o największej odległości prostopadłej od prostej 1 (wierzchołek D) i utworzenie prostej równoległej do prostej 1 przechodzącej przez wierzchołek D – prosta 2,
- utworzenie prostej prostopadłej do boku AB i przechodzącej np. przez punkt A – prosta 2a,
- wybór spośród wierzchołków budynku pierwotnego wierzchołka o największej odległości prostopadłej od prostej 2a (wierzchołek E) i utworzenie prostej równoległej do prostej 2a przechodzącej przez wierzchołek E – prosta 3,
- wybór spośród wierzchołków budynku pierwotnego wierzchołka o największej odległości prostopadłej od prostej 3 (wierzchołek F) i utworzenie prostej równoległej do prostej 2a przechodzącej przez wierzchołek F – prosta 4,
- znalezienie punktów przecięcia prostych 1,2,3,4 - będą to wierzchołki szukanego „prostokąta zewnętrznego” (wierzchołki 1,2,3,4),

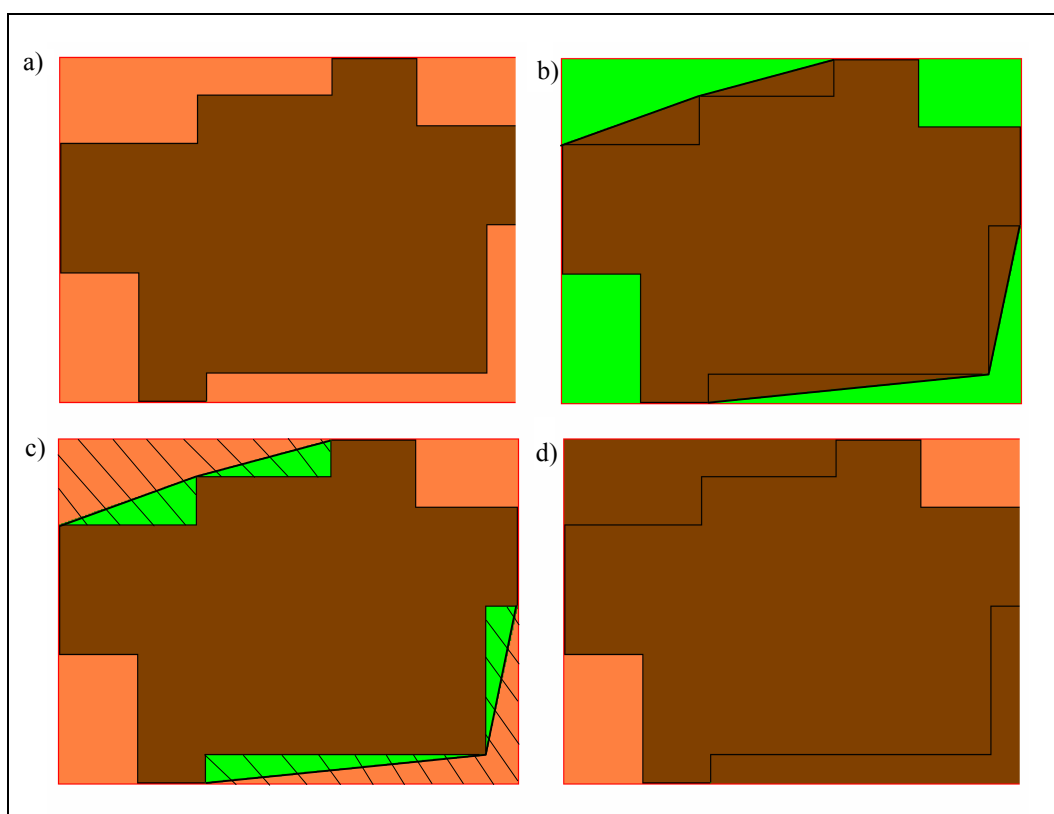
- zbudowanie „prostokąta zewnętrznego” z wyszczególnionych punktów 1,2,3,4 polega na ustaleniu kolejności łączenia poszczególnych wierzchołków tak, aby uzyskać odpowiednie boki prostokąta. Przykładowo można tego dokonać w następujący sposób:
 - wybór dowolnego punktu spośród punktów 1,2,3,4 – przykładowo 1,
 - ustalenie do której prostej spośród prostych 1,2,3,4 należy punkt 1 i wybór jednej z nich – przykładowo prosta 1,
 - ustalenie spośród punktów 2,3,4 punktu, który także należy do prostej 1 – jest to punkt 2,
 - ustalenie do której prostej spośród prostych 2,3,4 należy punkt 2 – do prostej 3,
 - ustalenie spośród punktów 3,4 punktu, który także należy do prostej 3 – jest to punkt 3,
 - pozostaje już tylko punkt 4, więc została ustalona kolejność łączenia odcinkami punktów 1,2,3,4.
- 4. Upraszczenie kształtu poszczególnych obiektów – dla obiektów pozostałych po procesie wstępnej eliminacji obiektów upraszczania ich kształtu należy dokonać zgodnie z algorytmem upraszczania linii łamanych zamkniętych omówionym w rozdziale 5.3.1.2.
- 5. „Prostokątowanie” kształtu obiektów uzyskanych po procesie upraszczania.

Poniżej zostanie zaprezentowany sposób „prostokątowania” uproszczonego kształtu budynku z wykorzystaniem „prostokąta zewnętrznego” (patrz powyżej). Zaproponowany algorytm charakteryzuje się niewielkim kosztem nakładu pracy, a efekty są wystarczające dla tworzenia mapy topograficznej w dowolnie wybranej skali.

Etapy procesu „prostokątowania” danego budynku są następujące (Rys. 47):

 - „nałożenie” na „prostokąt zewnętrzny” budynku pierwotnego – wybranie figur należących do „prostokąta zewnętrznego” i nienależących do budynku pierwotnego – zbiór 1 (na rysunku 47a zaznaczony kolorem pomarańczowym),
 - „nałożenie” na „prostokąt zewnętrzny” budynku uproszczonego – wybranie figur należących do „prostokąta zewnętrznego” i nienależących do budynku uproszczonego – zbiór 2 (na rysunku 47b zaznaczony kolorem zielonym),

- porównanie figur ze zbiorów 1 i 2 i usunięcie ze zbioru 2 tych figur, które znajdowały się także w zbiorze 1 – zmieniony zbiór 2 oznaczmy jako zbiór 3 (na rysunku 47c zaznaczony szrafurą),
 - dołączenie do budynku uproszczonego figur ze zbioru 3 – zastępujemy w ten sposób fragmenty budynku, które w wyniku upraszczania straciły własność prostokątności boków fragmentami „prostokąta zewnętrznego” (Rys. 47d).
- Ostatecznym etapem jest zastąpienie całego budynku uproszczonego „prostokątem zewnętrznym”.



Rys. 47. Etapy procesu „prostokątowania” budynku

6. Określenie metody wizualizacji obiektów na mapie.

a) Sposób wizualizacji poszczególnych budynków.

Metodę prezentacji danego budynku należy ustalić zgodnie z zasadami przedstawionymi w rozdziale 5.3.2. Dla klasy „Budynki” muszą zostać wprowadzone pewne modyfikacje w tym algorytmie. Są one następujące:

- rezygnacja z prezentacji budynku w postaci linii łamanej uzyskanej w procesie upraszczania i poddawania jej wygładzaniu przy przekroczeniu I-szego progu generalizacji – etapy generalizacji: linia łamana, linia

wygładzona zostają zastąpione jednym etapem: linia łamana uproszczona i „prostokątowana” (omówionym powyżej). Ostatni etap generalizacji pozostaje niezmienny, czyli symbolizacja.

- dla wyznaczenia progu generalizacji pomiędzy prezentacją budynku w postaci linii uproszczonej i „prostokątowanej”, a symbolizacją budynku należy wykorzystać wzór (13), w którym za wielkości n_0 , n_i oraz c należy przyjąć odpowiednio p_0 i p_i :

- p_0 – pierwotne pole powierzchni budynku,
- p_i – pole powierzchni budynku po procesie upraszczania i „prostokątowania”,
- $c = 0$.

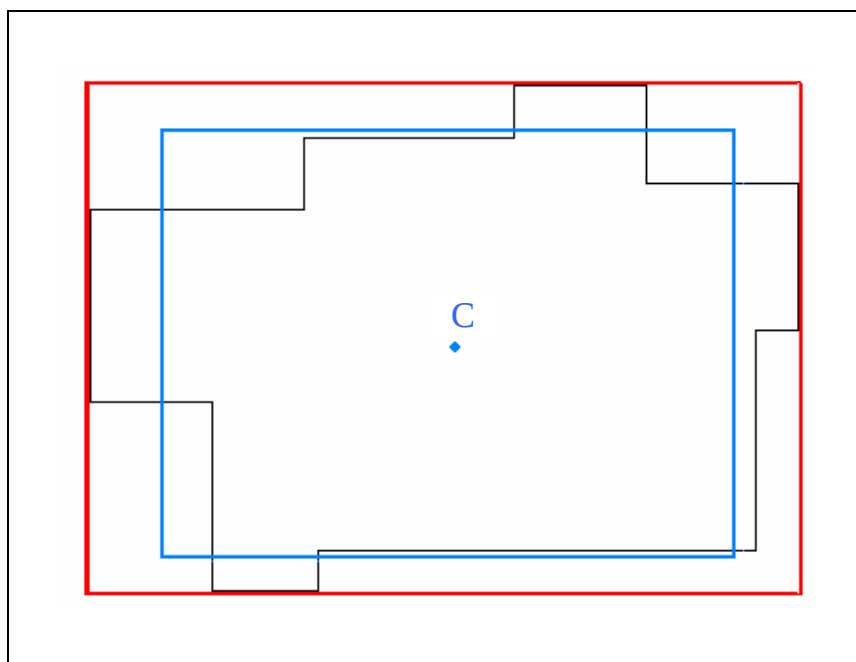
W zmodyfikowanym wzorze (13) wprowadzono pola powierzchni budynku zamiast liczby punktów określających jego geometrię.

W przypadku ustalenia wizualizacji w postaci symbolicznej można zastosować symbol budynku nazwany „prostokątem ostatecznym” (na rysunku 48 oznaczony kolorem niebieskim), który charakteryzuje się następującymi własnościami:

- boki ma nie mniejsze niż miara progowa rozpoznawalności rysunku linii łamanej w danej skali (rozdz. 2.3.1.6),
- jego środek ciężkości pokrywa się ze środkiem ciężkości budynku pierwotnego (na rysunku 48 oznaczony jako C),
- jego pole powierzchni jest równe polu powierzchni budynku pierwotnego,
- kierunek jednego z jego boków pokrywa się z kierunkiem najdłuższego boku budynku pierwotnego.

W celu utworzenia „prostokąta ostatecznego” należy wykorzystać „prostokąt zewnętrzny” i przesunąć go tak, aby jego środek ciężkości pokrył się ze środkiem ciężkości budynku pierwotnego. Następnie należy określić różnicę jego pola powierzchni w odniesieniu do pola powierzchni budynku pierwotnego. W ten sposób zostaje wyznaczony współczynnik przeskalowania „prostokąta zewnętrznego” tak, aby jego pole powierzchni odpowiadało polu powierzchni budynku pierwotnego. Pomniejszenia „prostokąta zewnętrznego” do odpowiednich rozmiarów należy dokonać tak, aby nie zmieniło się położenie jego środka ciężkości. Po wykonaniu tego procesu należy sprawdzić

czy długości boków otrzymanego prostokąta spełniają warunek rozpoznawalności w zadanej skali mapy. Jeśli nie to znaczy, że symbolizacja budynku nie będzie możliwa i należy usunąć ten budynek. Jeżeli warunek zostanie spełniony to uzyskujemy „prostokąt ostateczny”, który możemy traktować jako symbol budynku pierwotnego charakteryzujący się rozpoznawalnością rysunku na mapie w określonej skali dla określonej grubości linii.



Rys. 48. Symbolizacja budynku – „prostokąt ostateczny”

b) Metoda prezentacji zabudowy.

Należy ustalić czy dla danego terenu zabudowy, a następnie drogowego regionu elementarnego przedstawiać zabudowę w postaci obiektów klasy „Budynki” czy obiektów klasy „Tereny zabudowy”. Dotyczy to tylko zabudowy miejskiej z przewagą budynków mieszkalnych oraz zabudowy wiejskiej zagrodowej, gdyż mogą one być przedstawiane w postaci znaków pojedynczych budynków lub zagród (zabudowa luźna) albo jako obszary zabudowane (zabudowa gęsta lub zwarta). Natomiast budynki przemysłowe, użyteczności publicznej oraz zespoły innych budynków niemieszkalnych (np. kempingowych) przedstawia się zawsze za pomocą znaków pojedynczych budynków, więc podlegają one generalizacji ilościowej. W związku z tym dla

budynków przemysłowych określenie metody ich wizualizacji sprowadza się tylko do procedury opisanej powyżej w punkcie a). Natomiast poniższej zostaje zaproponowana metoda ustalenia sposobu przedstawiania na mapie budynków mieszkalnych.

W tym celu należy zastosować wzór (16), w którym wielkość l_i ma zostać wyznaczona w następujący sposób:

$$l_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_{iK}}{\sum_{i=1}^n P_{iP}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (19)$$

przy czym jako wielkości P_{iP} oraz P_{iK} należy przyjąć:

- P_{iP} – pierwotne pola powierzchni kolejnych budynków należących do wybranego terenu zabudowy / drogowego regionu elementarnego,
- P_{iK} – pola powierzchni odpowiednich budynków po procesie upraszczania i prostokątowania należących do wybranego terenu zabudowy / drogowego regionu elementarnego.

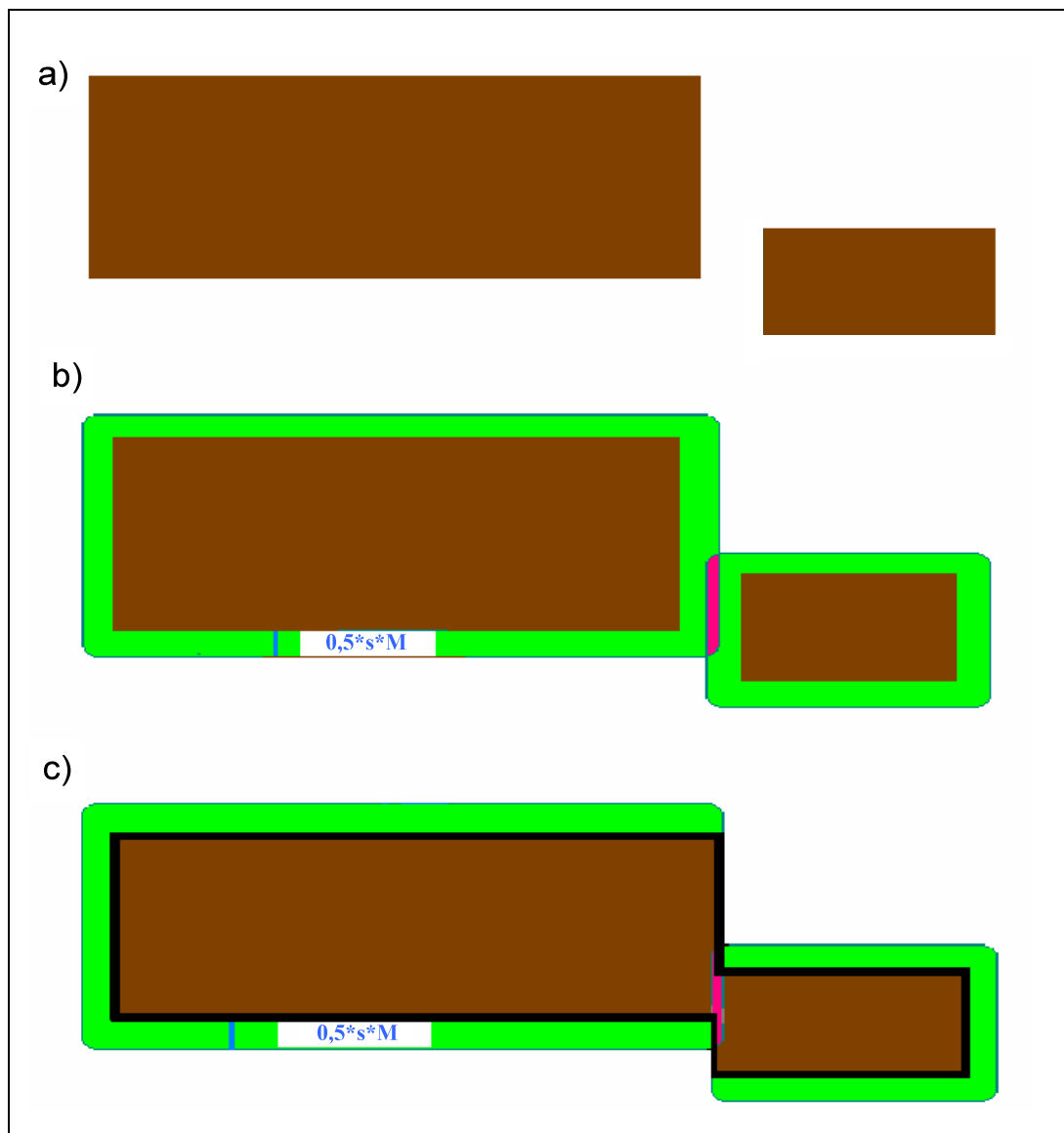
Z wzoru (16) ustala się próg do prezentacji zabudowy w postaci budynków lub terenów zabudowy jako:

- prezentacja budynków dla terenów zabudowy / drogowych regionów elementarnych, dla których spełniona jest zależność (16),
- eliminacja budynków i prezentacja konturów terenów zabudowy dla terenów zabudowy / drogowych regionów elementarnych, dla których nie spełniona jest zależność (16).

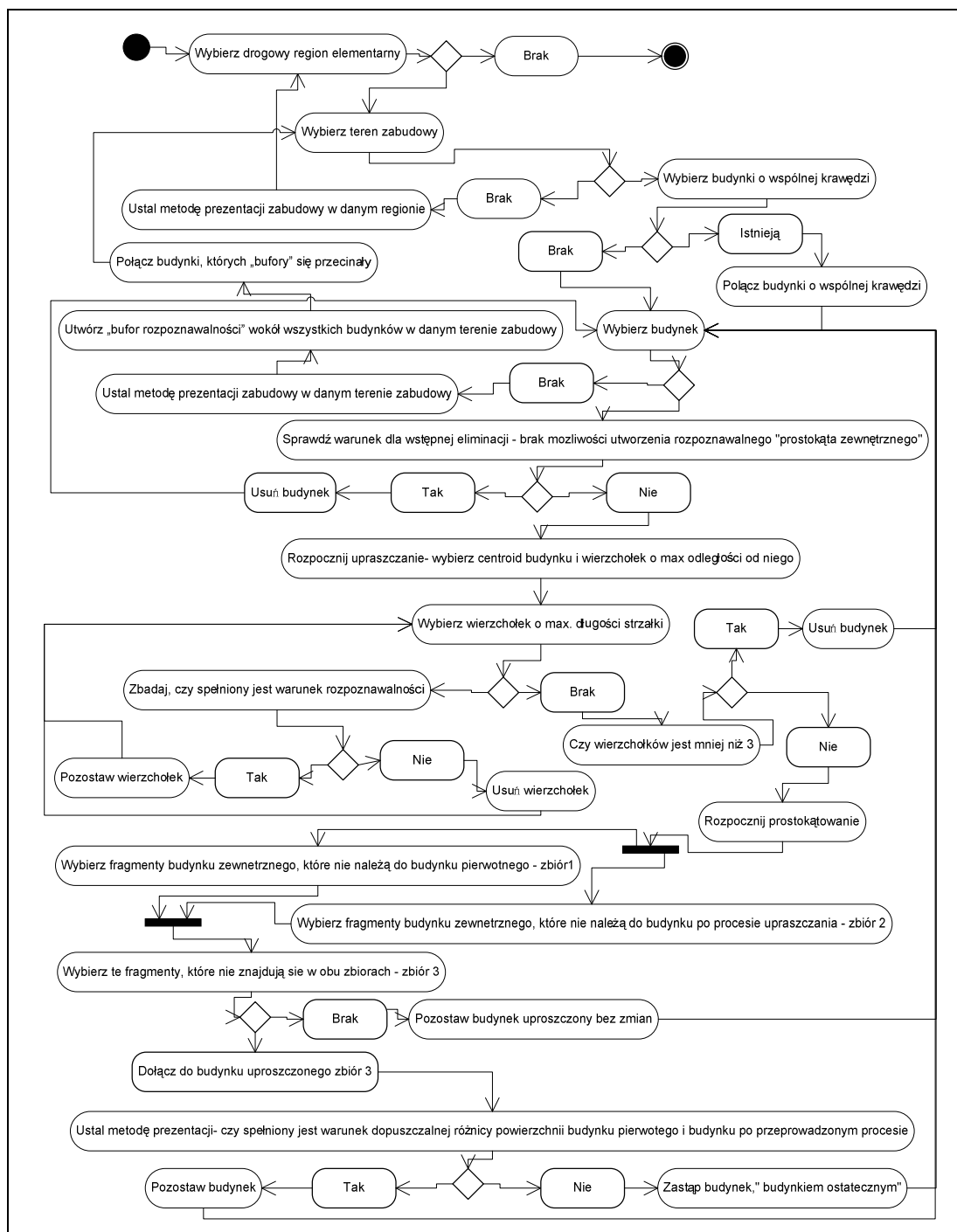
7. Identyfikacja i eliminacja powstałych konfliktów.

Ostatnim etapem procesu generalizacji jest identyfikacja konfliktów powstałych pomiędzy obiektami uzyskanymi po wykonaniu procedur omówionych powyżej. W wyniku tych procesów można uzyskać budynki, które będą się przecinały lub ich wzajemne odległości będą nierozpoznawalne na tworzonej mapie w zadanej skali. W związku z tym należy wyselekcjonować te obiekty i dokonać ich połączenia oraz ustalić ich atrybuty analogicznie jak w przypadku łączenia budynków przedstawionego w punkcie 2. Przy wyborze „konfliktowych” obiektów zostaje zastosowany tzw. „bufor rozpoznawalności”. Wokół każdego budynku, tworzony jest bufor zewnętrzny o szerokości równej połowie miary progowej rozpoznawalności rysunku linii łamanej w danej skali (patrz rozdział

2.3.1.6). Sprawdzając czy utworzone buforory przecinają się czy nie ustalamy budynki, pomiędzy którymi istnieje konflikt i dokonujemy ich połączenia (Rys. 49).



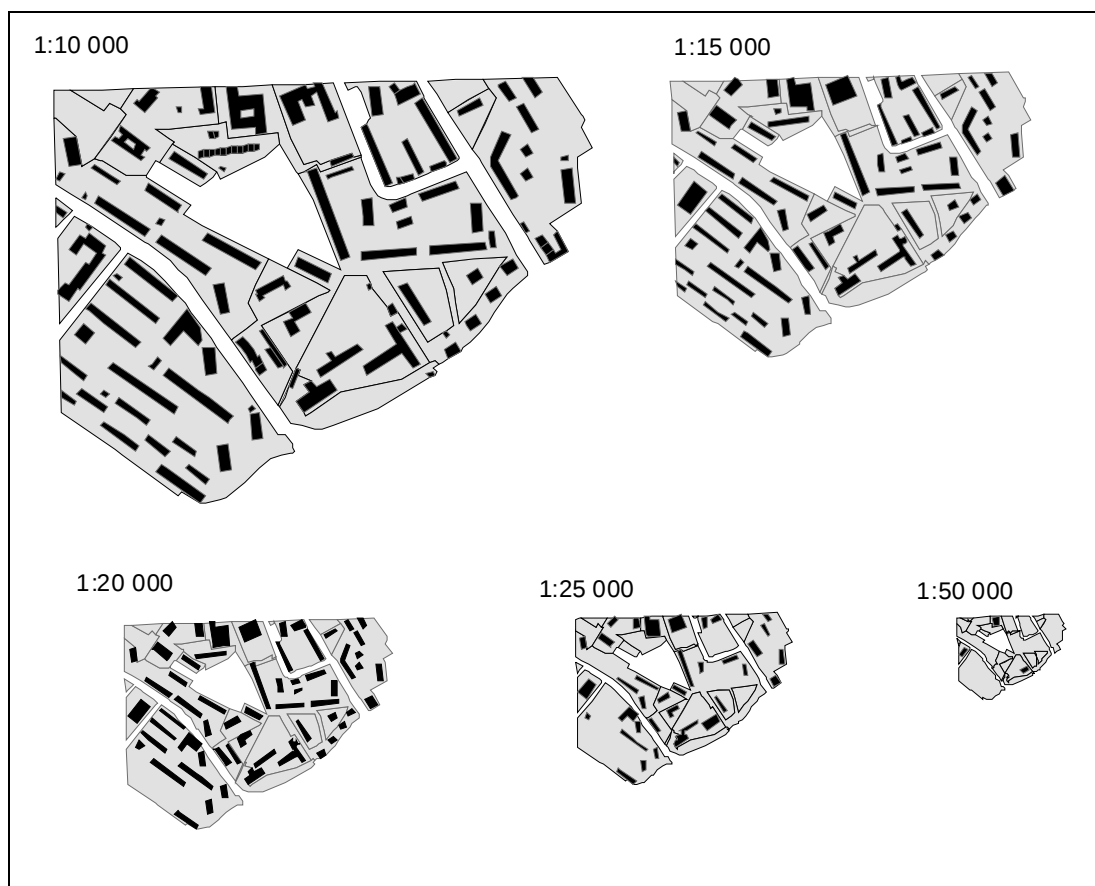
Rys. 49. Identyfikacja i eliminacja konfliktu pomiędzy dwoma budynkami: a) budynki, podlegające sprawdzeniu, b) utworzenie „butorów rozpoznawalności” i sprawdzenie ich przecinania się, c) połączenie budynków



Rys. 50. Schemat algorytmu dla procesu generalizacji obiektów klasy „Budynki”

Przykład przeprowadzonego procesu generalizacji na danych zawartych w klasie „Budynki” TBD został zaprezentowany na rysunku 51. Wykonano ten proces dla budynków znajdujących się w jednym drogowym regionie elementarnym. Dane pierwotne zostały pokazane na rysunku w skali 1:10000, natomiast dane wynikowe są prezentowane w skalach, dla których był przykładowo przeprowadzany proces

generalizacji, oparty na etapach omówionych powyżej. Na rysunku zostały także ukazane granice terenów zabudowy, jednak nie podlegały one procesowi generalizacji. Zostały one przedstawione jako „podkład” dla budynków tak, aby można było prześledzić sposób zmiany metody prezentacji zabudowy z pojedynczych budynków na obszary zabudowane.



Rys. 51. Proces generalizacji obiektów klasy „Budynki”

6.3. Kompleksy pokrycia terenu

„Kompleksy pokrycia terenu” (PK) to superklasa, do której zgodnie z wytycznymi technicznymi TBD (2003) zalicza się najważniejsze, powierzchniowe elementy sytuacyjne terenu, rozróżnialne przede wszystkim na podstawie ich zewnętrznego ogłądu (cech fizjonomicznych), a nie pełnionych przez nie funkcji. Należą do niej:

- Obszary wód (PKWO),
- Tereny zabudowy (PKZB),

- Tereny leśne lub zadrzewione (PKLA),
- Tereny roślinności krzewiastej (PKKR),
- Tereny upraw trwałych (PKUT),
- Tereny roślinności trawiastej i upraw rolnych (PKTR),
- Tereny komunikacyjne (PKTK),
- Tereny gruntów odsłoniętych (PKBR),
- Tereny niezabudowane przemysłowo-składowe (PKPS).

W stosunku do obiektów wyróżnianych na mapie topograficznej w skali 1:10000 można zauważyć znaczące zmiany w klasyfikacji obiektów TBD. Przykładowo:

- W TBD istnieją dodatkowo klasy odpowiadające prezentacji treści na mapie w skali 1:50000 np. „Tereny zabudowy” odpowiadające prezentacji zabudowy na mapie skali 1:50000 a nie 1:10000, na której przedstawiane są wyłącznie budynki.
- Dla niektórych obiektów przedstawianych na mapie topograficznej nie istnieją wyróżnione klasy obiektów TBD, tylko uzyskuje się je poprzez „nałożenie” obiektów różnych klas np. „nałożenie” obiektów klasy „Teren leśny lub zadrzewiony” i klasy „Cmentarz” uzyskujemy obiekty: „Cmentarz zadrzewiony” i „Cmentarz niezadrzewiony”.
- W TBD istnieją klasy, których obiekty nie są treścią mapy topograficznej np. grunty orne, tereny komunikacyjne.
- Model pojęciowy TBD został tak skonstruowany, aby umożliwiać przedstawienie terenu na różnych poziomach uogólnienia np. „Las” oraz bardziej szczegółowo „Las liściasty”.

Wprowadzenie tych niektórych zmian umożliwia nie tylko sporządzanie mapy topograficznej w skali 1:10000, ale także w skali 1:50000. Idąc dalej można stwierdzić, że aby możliwe było z TBD generowanie map topograficznych w dowolnych skalach należy zapewnić wyczerpujący opis terenu na różnych poziomach uogólnienia. Wówczas proces generalizacji obiektów superklasy „Kompleksy pokrycia terenu” będzie opierał się w głównej mierze na procedurach agregacji klas i obiektów.

6.3.1. Proces generalizacji

Proces generalizacji obiektów superklasy „Kompleksy pokrycia terenu” (PK) należy przeprowadzać kolejno dla poszczególnych obiektów należących do klas na odpowiednim poziomie hierarchii scalania (patrz rozdział 5.3.4). W związku z tym na wstępie należy ustalić tę hierarchię dla obiektów poszczególnych klas wchodzących w skład superklasy PK. Tabela 8 przedstawia schemat klasyfikacji obiektów dla superklasy „Kompleksy pokrycia terenu” oraz informacje, jakie obiekty są treścią mapy topograficznej w skali 1:10000 i 1:50000. Elementem wyjściowym w tabeli jest klasyfikacja wynikająca z TBD. Jeżeli dane obiekty są odpowiednio treścią mapy topograficznej w skali 1:10000 lub 1:50000 to wówczas zostaje to zaznaczone w tabeli znakiem „+”. Jeżeli w ogóle nie występują to w tabeli zostaje to zaznaczone znakiem „-”, a jeżeli klasom TBD odpowiadają inne klasy obiektów wyróżnianych na mapach topograficznych w zadanych skalach to wówczas w tabeli zostają wpisane te odpowiadające klasy obiektów. Poniższe zawarte w tabeli zestawienie pokazuje jak należy dokonywać procesów scalania poszczególnych obiektów i klas należących do superklasy „Kompleksy pokrycia terenu”.

Dysponując hierarchią scalania obiektów i znając skalę opracowywanej mapy można rozpocząć proces generalizacji obiektów, należących do poszczególnych klas na najniższym poziomie tej hierarchii (przykładowo dla mapy topograficznej w skali 1:10000 dla obiektów klasy PKLA należących do superklasy PK najniższym poziomem w hierarchii będzie poziom 4 klasyfikacji TBD, czyli np. „Las liściasty”). Proces ten składa się z następujących etapów (schemat algorytmu przedstawia rysunek 53):

1. „Buforowanie” poszczególnych obiektów.

Pod pojęciem „buforowanie” jest rozumiane badanie poszczególnych obiektów pod względem zachowania wzajemnej rozpoznawalności ich konturów w określonej skali mapy. W tym celu wokół każdego obiektu zostaje tworzony bufor zewnętrzny o szerokości równej połowie miary progowej rozpoznawalności rysunku linii łamanej w danej skali (patrz rozdział 2.3.1.6 oraz rysunek 49).

Tab. 8. Schemat klasyfikacji obiektów: superklasy PK TBD, mapy topograficznej w skali 1:10000 i 1:50000

KOMPLEKSY POKRYCIA TERENU (PK)				
TBD			1:10 000	1:50 000
POZIOM 2	POZIOM 3	POZIOM 4 - DODATKOWE ATRYBUTY		
Obszary wód (PKWO)	Wody morskie	-	+	+
	Wody powierzchniowe płynące		+	+
	Wody powierzchniowe stojące		+	+
Uwaga:			Nie tworzy się oddzielnych obiektów powierzchniowych dla cieków przedstawianych powierzchniowo tylko przedstawia się linię brzegową i pokrycie powierzchni wód dla cieków o szerokości:	
			> 5 m	> 25 m
Tereny zabudowy zwartej, gęstej lub luźnej (PKZB)	ZABUDOWA: blokowa	-	-	wielorodzinna
	typu śródmiejskiego			+
	jednorodzinna		nieurządzony teren przemysłowo-składowy	teren przemysłowo-składowy
	przemysłowo-magazynowa		-	+
Tereny niezabudowane przemysłowo-składowe (PKPS)	inna	-	nieurządzony teren przemysłowo-składowy	teren przemysłowo-składowy
	T. pod urządzeniami technicznymi			
	T. składowania odpadów			
	Zwałowisko			
	Wyrobisko, dół poeksploatacyjny			
Inne t. przem-skl.				
Tereny komunikacyjne (PKTK)	T. drogowy	-	-	-
	T. kolejowy			
	T. drogowo-kolejowy			
	T. płyty lotniska			

KOMPLEKSY POKRYCIA TERENU (PK)				
TBD			1:10 000	1:50 000
POZIOM 2	POZIOM 3	POZIOM 4 - DODATKOWE ATRYBUTY		
Tereny leśne lub zadrzewione (PKLA)	Las		+	+
		Rodzaj drzewostanu: – iglasty – liściasty – mieszany	+	+
	Zagajnik		+	+
		Rodzaj drzewostanu: – iglasty – liściasty – mieszany	+	-
	Inne zadrzewienie	-	Park i skwer: – o zwartym zadrzewieniu – o pojedyn- czych drzewach – brak drzew	Park i skwer
Tereny roślinności krzewiastej (PKKR)	Zarośla krzewów	-	+	+
	Zarośla kosodrzewiny			
Tereny roślinności trawiastej i upraw rolnych (PKTR)	Uprawy na gruntach ornych	-	-	-
	Roślinność trawiasta		+	+
Tereny upraw trwałych (PKUT)	Sad	-	+	Sad, plantacja krzewów owocowych, ogródki działkowe
	Ogródki działkowe		+	
	Plantacja	Rodzaj uprawy: – jabłonie, – chmiel, – itd.	Plantacja krzewów owocowych	Plantacja roślin przemysł- owych
			Plantacja roślin przemysł- owych	
Tereny gruntów odsłoniętych (PKBR)	Teren piaszczysty lub żwirowy	-	+	+
	T. kamienisty			
	Piarg, usypisko, rumowisko skalne			
	Inne grunty odsłonięte			

Sprawdzając, czy utworzone buforory przecinają się, ustalamy czy badane kolejne dwa obszary będą widoczne na mapie jako rozdzielne, czy nie. Jeżeli nie to będzie konieczne połączenie tych obiektów w jeden obiekt „złożony”, który będzie podstawą do dalszej generalizacji. Jest istotne, aby dokonywać tych połączeń wewnątrz drogowych regionów elementarnych (patrz rozdział 5.3.3), gdyż drogi są tym elementem sytuacji geograficznej, który powoduje rozdzielanie poszczególnych obiektów „Kompleksów pokrycia terenu”. Dzięki temu zmniejszymy liczbę późniejszych konfliktów pomiędzy superklasami PK i SK. W związku z tym zasadne staje się wprowadzenie do TBD dodatkowego atrybutu dla obiektów superklasy PK, przechowującego informację o przynależności danego obiektu do określonego drogowego regionu elementarnego (np. ID_REGIONU_ELEM). Oczywiście nie jest to obowiązkowe, gdyż użytkownik może także każdorazowo w procesie generalizacji na wstępie dokonywać ustalenia tej przynależności.

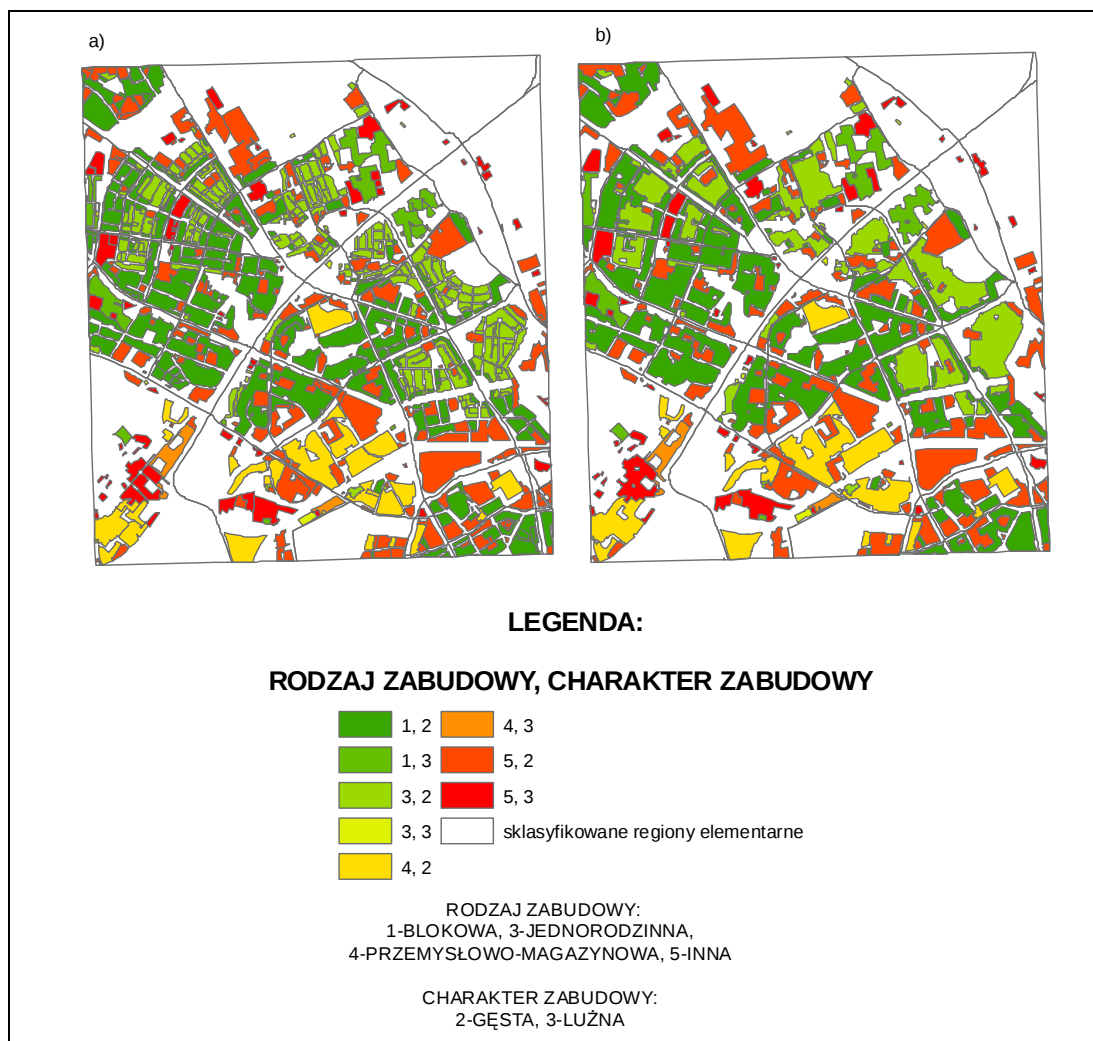
Dodatkowo znając przynależność danych obiektów do ustalonych drogowych regionów elementarnych, w przypadku eliminacji danego regionu w procesie generalizacji sieci dróg, automatycznie można dokonać eliminacji obiektów superklasy PK, przynależących do niego, ponieważ nie będą one także rozpoznawalne na tworzonej mapie.

Przykład przeprowadzonego procesu „buforowania” wewnątrz regionów elementarnych dla obiektów klasy „Tereny zabudowy” na najniższym poziomie klasyfikacji (np. zabudowa luźna jednorodzinna) został przedstawiony na rysunku 52. Na rysunku 52a zostały pokazane w skali 1:50000 dane pierwotne zgromadzone w TBD natomiast na rysunku 52b przedstawiono w tej samej skali dane po wykonaniu „buforowania”. Widać, że w wyniku przeprowadzenia „buforowania” obiekty niespełniające kryterium wzajemnej rozpoznawalności zostały połączone w obiekty „złożone”.

2. Wstępna eliminacja.

Jako powierzchnia elementarna dla procesu eliminacji obiektów superklasy PK zostaje przyjęte, analogicznie jak dla eliminacji regionów drogowych (rozdz.5.3.3), pole powierzchni koła o promieniu równym połowie miary rozpoznawalności rysunku linii łamanej w danej skali (rozdz.2.3.1.6).

3. Upraszczenie kształtu - zgodnie z algorytmem upraszczania linii łamanych zamkniętych omówionym w rozdziale 5.3.1.2



Rys. 52. Tereny zabudowy TBD: a) dane pierwotne, b) dane po wykonaniu „buforowania” dla skali 1:50000

4. Określenie metody wizualizacji.

a) Sposób wizualizacji poszczególnych obiektów.

Metodę prezentacji danego obiektu należy ustalić zgodnie z zasadami przedstawionymi w rozdziale 5.3.2. Dla wyznaczenia kolejnych progów generalizacji należy wykorzystać wzór (13), w którym (podobnie jak w przypadku generalizacji budynków – rozdział 6.2.1.1) za wielkości n_0 , n_i oraz c należy przyjąć odpowiednio p_0 i p_i :

- p_0 – pierwotne pole powierzchni obszaru,
- p_i – pole powierzchni obszaru po procesie upraszczania,
- $c = 0$.

Etapami wizualizacji wybranego obiektu superklasy PK są: linia łamana, linia wygładzona oraz eliminacja obiektu.

b) Sposób wizualizacji całej klasy

Ustalenie sposobu wizualizacji poszczególnych klas sprowadza się do określenia warunków dla scalania obiektów. W tym celu zgodnie z zasadami wizualizacji omówionymi w rozdziale 5.3.2. należy zastosować wzór (16), w którym wielkość l_i ma zostać wyznaczona zgodnie ze wzorem (15), przy czym jako wielkości P_0 oraz P_i należy przyjąć pola powierzchni:

- P_0 - obszaru na wyższym poziomie hierarchii scalania (np. „Las”),
- P_i - pojedynczego obszaru na niższym poziomie hierarchii scalania (np. „Las liściasty”, „Las iglasty”, „Las mieszany”)

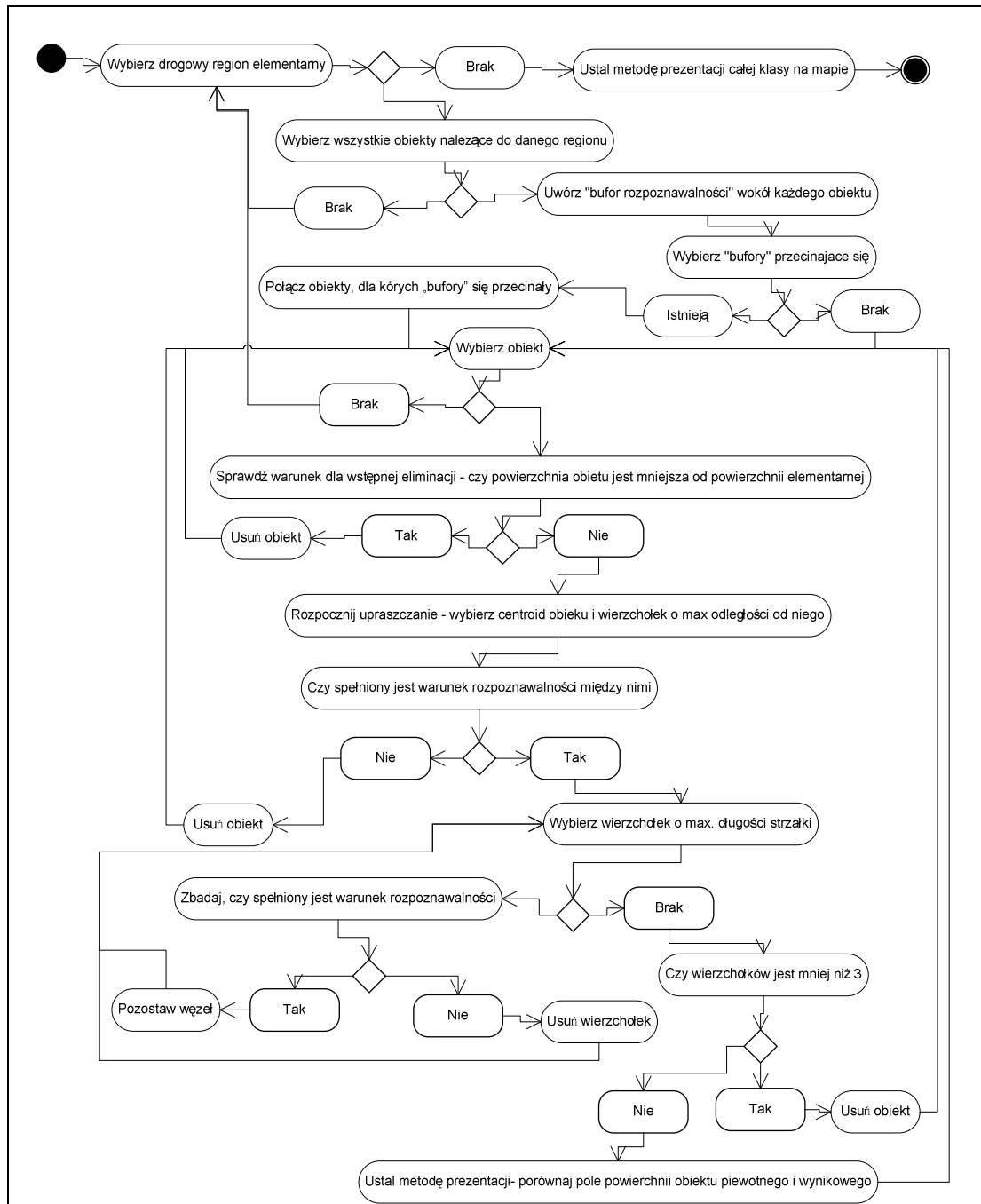
Ponieważ sposób prezentacji danych kompleksów pokrycia terenu musi być dla całej mapy topograficznej taki sam, więc we wzorze (15) należy dokonać zsumowania wszystkich obiektów należących do obszaru opracowania. W związku z tym wzór ten przyjmie postać:

$$l_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n P_0}, \quad i=1,2,3...n \quad (20)$$

Z wzoru (16), ustala się próg do prezentacji obiektów PK na mapie:

- obszary na pierwotnie analizowanym poziomie hierarchii scalania, gdy spełniona jest zależność (16) („Las liściasty”, „Las iglasty”, „Las mieszany”),
- obszary na wyższym poziomie hierarchii scalania gdy nie spełniona jest zależność (16) („Las”)

W przypadku zmiany metody prezentacji należy rozpocząć procedurę generalizacji od początku.



Rys. 53. Schemat algorytmu dla procesu generalizacji obiektów superklasy „Kompleksy pokrycia terenu”

7. Ocena przeprowadzonego procesu generalizacji

W celu dokonania oceny przeprowadzonego procesu generalizacji dla wyszczególnionych w poprzednim rozdziale superklas obiektów TBD, zostaną porównane dane wynikowe uzyskane z danych źródłowych zawartych w TBD dla mianownika skali mapy wynoszącego 1:50000 z danymi zgromadzonymi w bazie danych VMapL2 dla tego samego obszaru testowego. Dla porównania została wybrana baza VMapL2, ponieważ w pracy zwrócono przede wszystkim uwagę na możliwość zastąpienia TBD i VMapL2 jednym produktem – odpowiednio skonstruowaną bazą typu MRDB, dającą możliwość uzyskania, przy zastosowaniu wyszczególnionych metod generalizacji, map topograficznych w dowolnych skalach, a w tym przede wszystkim map topograficznych w skalach 1:10000, 1:50000.

Dane cyfrowe VMapL2 opracowane przez Służbę Topograficzną WP (w późniejszym okresie przy współudziale GUGiK) obejmują obszar całej Polski. Baza danych przestrzennych VMapL2 powstawała na drodze wektoryzacji zeskanowanych diapozytywów wojskowych map topograficznych w skali 1:50000. Wykorzystanie jako podstawowego źródła danych geometrycznych średnioskalowych, analogowych map topograficznych sprawia, że opracowana baza VMapL2 ma z jednej strony wiele cech właściwych bazom danych przestrzennych (model DLM), a z drugiej zaś wiele cech map cyfrowych (model DCM). Wynika to także z faktu, iż podstawowym celem VMapL2 było opracowanie nowej edycji mapy topograficznej 1:50000, a nie zasilanie danymi systemów informacji przestrzennej (GIS) zorientowanych na prowadzenie złożonych analiz przestrzennych. Baza danych VMapL2 i opracowywane na jej podstawie arkusze mapy topograficznej 1:50000 w standardzie NATO wykonywane są w Polsce od 2000 roku. Obecnie podjęto decyzję o aktualizacji VMap L2 w oparciu o ortofotomapy i prace terenowe. Wstępne szacunki zakładają wykonanie zadania w przeciągu 5–6 lat, w ścisłej kooperacji i przy istotnym współfinansowaniu zadania przez cywilną służbę geodezyjno-kartograficzną (2/3 kosztów). Współpraca obu służb (cywilnej i wojskowej) zaowocowała także decyzją o współuczestniczeniu w pracach zmierzających do harmonizacji modelu pojęciowego TBD i VMap oraz koordynowaniu gromadzenia danych źródłowych pozyskiwanych w trakcie prac terenowych.

Dokonując analizy pomiędzy danymi wynikowymi uzyskanymi na podstawie danych zgromadzonych w TBD i poddanych procesowi generalizacji dla ich wizualizacji w skali 1: 50000 oraz danych zawartych w VMapL2, należy wziąć pod uwagę przede wszystkim różnice w modelu pojęciowym tych danych. Podstawy modelu pojęciowego VMap wywodzą się ze standardu wymiany cyfrowej informacji geograficznej DIGEST (Digital Geographic Information Exchange Standard). Standard ten jest zgodny z normami ISO TC211 oraz ISO 19115. Do opracowania koncepcji VMap wykorzystano przede wszystkim część II standardu DIGEST – „Theoretical Model, Exchange Structure and Encapsulation Specification” – opisującą model teoretyczny danych i format wymiany VPF. Natomiast z części IV – „Feature and Attribute Coding Catalogue” – zaczerpnięto schemat kodowania obiektów geograficznych i ich atrybutów. Klasyfikacja zastosowana do opracowania bazy VMap wyróżnia pewną ilość obiektów, które są charakterystyczne dla kartograficznego modelu danych (DCM). O takim podejściu świadczy np. brak ciągłej reprezentacji sieci hydrograficznej - w obszarze cieków reprezentowanych powierzchniowo (szerokość większa od 30m) cieki nie są przedstawiane liniowo. Znaczna część klas obiektów składających się na zakres treści bazy danych jest wspólna dla TBD i VMapL2, jednak w TBD istnieją klasy obiektów niewystępujące w VMapL2 i odwrotnie. W modelu pojęciowym VMap funkcjonuje np. szereg obiektów, które w TBD zostały pominięte (np. „Tor wodny”). Niektóre obiekty występują zarówno w TBD, jak i w VMap, ale zasady ich wydzielania i definicja są nieco różne. Przykładem może być obiekt „Teren zabudowy”. Występuje pojęciowa różnica w definicji terenu zabudowy gęstej. W VMap zabudowa dzieli się na:

- rzadką do umiarkowanie gęstej,
- gęstą.

Pojęcie zabudowy gęstej obejmuje w tym przypadku tereny zaliczane w TBD do terenów zabudowy zwartej. Istotną różnicą pomiędzy modelem TBD a VMap jest reprezentacja sieci drogowej. W TBD drogi reprezentowane są poprzez osie jezdni dróg, w VMap zaś przez osie dróg. W przypadku dróg jednojezdniowych nie ma to większego wpływu na możliwości wymiany danych. Trudności w zakresie wymiany pojawiają się w przypadku dróg dwujezdniowych.

Na ocenę uzyskanych wyników prac dla wyszczególnionych klas obiektów ma również wpływ porównanie zakresu treści VMapL2 z zakresem treści cywilnej mapy topograficznej w skali 1:50000, które wygląda następująco:

1. Zabudowa, budynki i budowle

Istnieje znaczna zbieżność w klasyfikacji budynków i budowli, przy czym w VMapL2 wszystkie kategorie i wyróżnienia dotyczące budynków zostały zakodowane jako atrybuty, a pod względem informacyjnym znacznie przekraczają zakres treściowy cywilnej mapy topograficznej.

Znaczne różnice występują:

- a) w definicjach obiektów: zakład przemysłowy/przetwórczy (VMap L2) i teren przemysłowo-składowy (cywilna mapa topograficzna);
- b) w klasyfikacji terenów zabudowanych: na mapie cywilnej - zabudowa luźna (nie oznaczana odrębnym znakiem), gęsta, zwarta; na mapie wojskowej - teren zabudowany rzadki do umiarkowanie gęstego, gęsty;
- c) w kryteriach minimalnych wielkości obiektów tej grupy przy stosowaniu znaków symbolicznych (pozaskalowych) na cywilnej mapie topograficznej i wyjściu kartograficznym VMap L2.

2. Roślinność i uprawy

Pomimo generalnej zgodności, co do głównych formacji roślinnych istnieje szereg rozbieżności w klasyfikacji i definiowaniu obiektów związanych z roślinnością, np.:

- klasy obiektów: „Sad/plantacja krzewów”, „Teren uprawny” w bazie VMap L2 nie w pełni odpowiadają klasom „Plantacji roślin przemysłowych” na cywilnej mapie topograficznej,
- różnice występują w definicjach: klasy „Las” (w bazie VMap L2 do klasy tej zalicza się także grupy drzew), obiektów klasy zagajnik, kosodrzewina i gęste krzaki (w bazie VMapL2 istnieje jedna klasa „Krzewy/kosodrzewina/zagajnik” bez rozróżnienia krzewów od zagajników i kosodrzewiny),
- w bazie VMapL2 jako obiekty jednej klasy traktowane są pasy drzew i żywopłoty,
- w VMap L2 nie przedstawia się innych terenów trawiastych poza łąkami.

Rozbieżności dotyczą także kryteriów minimalnych wielkości wydzielania niektórych obiektów (np. w VMap L2 pas drzew lub żywopłot umieszcza się, gdy obiekty te mają długość powyżej 500m).

3. Grunty

Występują pewne rozbieżności w klasyfikacji i definiowaniu obiektów, np. piaski i żwiry.

4. Wody i obiekty z nimi związane

Występuje zgodność w zakresie generalnej klasyfikacji wód i obiektów z nimi związanych. Różnice występują w podziale cieków na kategorie ze względu na ich szerokość. Poniżej w tabeli 9 przedstawiono podział cieków na klasy na podstawie różnych kryterium szerokości w różnych opracowaniach.

Tab. 9. Podział cieków na klasy na mapie topograficznej 1:50000 i VMap L2

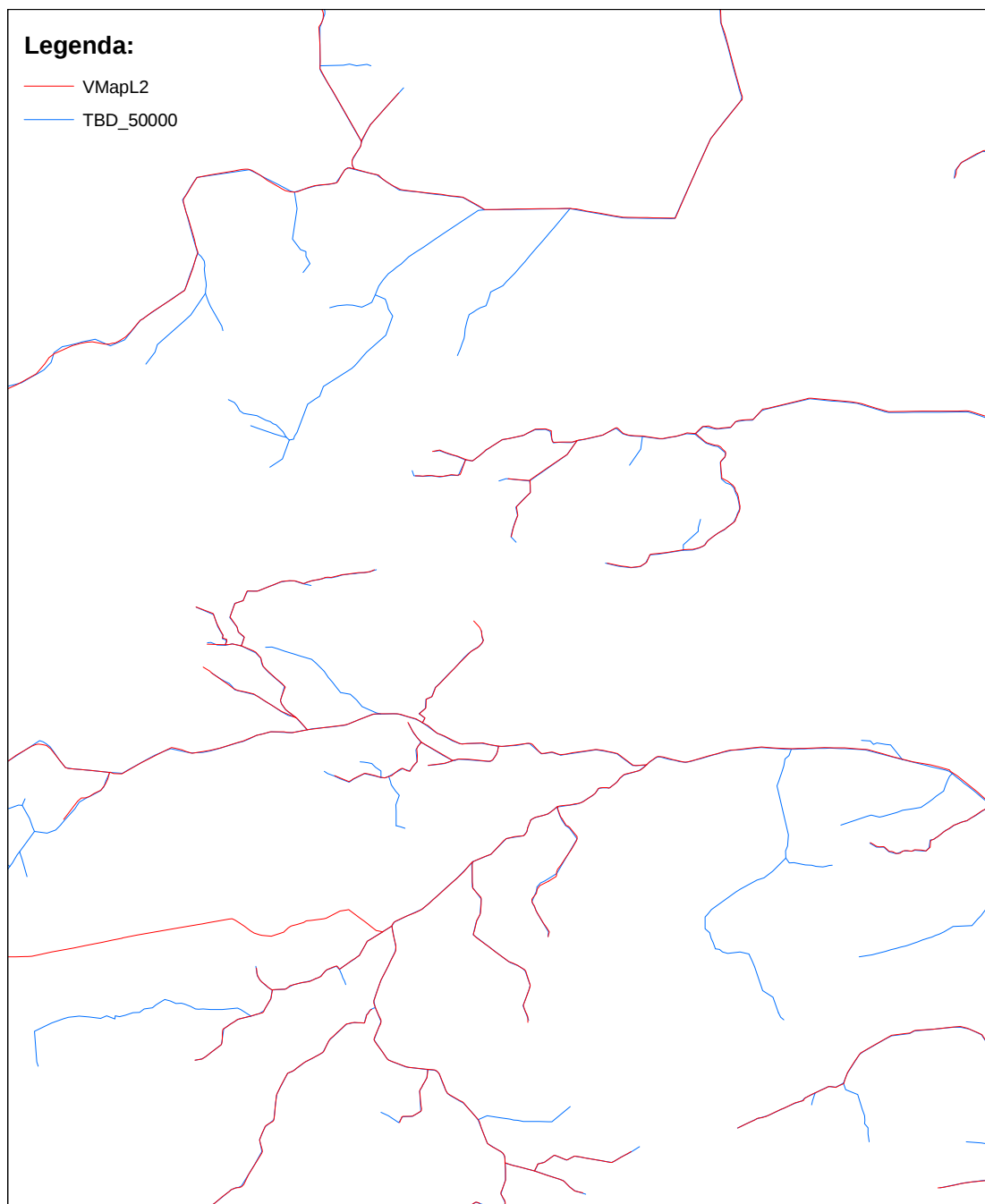
Cywilna mapa topograficzna 1:50 000	Baza danych VMap L2 (atrybuty WWR=1,2,3)
do 5 m	do 3 m (1)
5 – 15 m	3 – 5 m (2)
15 – 25 m	5 – 30 m (3)

Rozbieżności dotyczą także kryteriów minimalnych długości niektórych obiektów (np. brzegu urwistego). W VMapL2 brak wydzielenia podmokłości. Zakres treści VMapL2 dotyczący obiektów związanych lub mających znaczenie dla żeglugi lądowej lub morskiej wykracza istotnie poza zakres informacyjny cywilnej mapy topograficznej.

W związku z powyższymi aspektami, które należy uwzględnić w ocenie uzyskanych wyników prac, można zauważyć na podstawie poniższych rysunków następujące prawidłowości:

– „Sieci cieków” (SWRK_L)(Rys. 54)

Na rysunku 54 kolorem czerwonym przedstawiono dane pochodzące z VMapL2, natomiast kolorem niebieskim dane z TBD po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali 1:50000. Jeżeli istnieje zgodność między tymi danymi to na rysunku widać nałożenie obu kolorów, a jeżeli są rozbieżności to widać kolor niebieski lub czerwony. Jeżeli obiekt istnieje w TBD, a nie ma go w VMapL2 to na rysunku zauważamy go w kolorze niebieskim, a jeżeli zachodzi sytuacja odwrotna to w kolorze czerwonym.



Rys. 54. Obiekty superklasy SWRK_L z TBD po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali mapy 1:50000 oraz obiekty z VMapL2 odpowiadające tej klasie – przedstawione w skali 1:50000

Dane pochodzące z TBD cechuje większa szczegółowość – wiele obiektów po przeprowadzonym procesie generalizacji nie znajduje swych odpowiedników w danych zgromadzonych w VMapL2.

Dla obiektów znajdujących się w obu bazach danych istnieje zadowalająca zgodność pomiędzy danymi zgromadzonymi w VMapL2 a danymi uzyskanymi z TBD po przeprowadzonym procesie generalizacji. Większość różnic

w przebiegu granic lub w umiejscowieniu obiektów jest na tyle mała, że mieści się w granicach rozpoznawalności rysunku dla skali mapy 1:500000.

- „Budynki” (BBBD_A) i „Kompleksy pokrycia terenu” – „Tereny zabudowy” (PKZB_A) (Rys.55 i 56)

Na rysunku 55 zostały przedstawione dane zgromadzone w TBD w klasach „Budynki” oraz „Tereny zabudowy”. Pokazano je w skali 1:25000, ale odpowiadają one poziomowi szczegółowości dla skali 1:10000, gdyż nie przeprowadzano dla tych danych procesu generalizacji. Zostało to zrobione celowo, gdyż chodziło o ukazanie danych pierwotnych zgromadzonych w TBD, aby można było się do nich odnieść przy analizie rysunku 56, na którym zostały ukazane te same dane, ale po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali 1:50000.

Na rysunku 56 budynki i tereny zabudowy przedstawione zostały w skali 1:50000. Rysunek 56a ukazuje obiekty pochodzące z TBD po przeprowadzonym procesie generalizacji, rysunek 56b obiekty zawarte w VMapL2, natomiast rysunek 56c to porównanie obiektów przedstawionych na rysunkach 56a i 56b. Na tym rysunku dla wyróżnienia rozbieżności występujących wśród budynków zaznaczono je kolorem czerwonym. Natomiast różnice w przebiegu granic terenów zabudowy, można zaobserwować dzięki przedstawieniu różnymi kolorami obiektów z TBD i VMapL2.

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić następujące prawidłowości dla:

- Budynków

Po procesie generalizacji dla danych zgromadzonych w TBD, pozostały nie wszystkie obiekty spośród tych, które są zawarte w VMapL2. Jest to wynik nałożenia kryterium rozpoznawalności rysunku, które wymusza usunięcie ich z grupy obiektów, które będą pokazywane w postaci obiektów powierzchniowych, na rzecz przedstawienia ich w postaci sygnatury punktowej lub terenu zabudowy.

W VMapL2 istnieją budynki, które nie spełniają warunku rozpoznawalności rysunku, najczęściej są to budynki, w których jeden z boków nie spełnia tego kryterium np. budynek o wymiarach boków 15m x 45m. Są to z reguły budynki, dla których sposób prezentacji w postaci powierzchniowej nie wpływa na zwiększenie przekazu informacji z mapy. Nie mają one, bowiem

większego znaczenia informacyjnego od pozostałych budynków, które zostają usunięte w wyniku procesu generalizacji i zastąpione prezentacją w postaci terenów zabudowy.

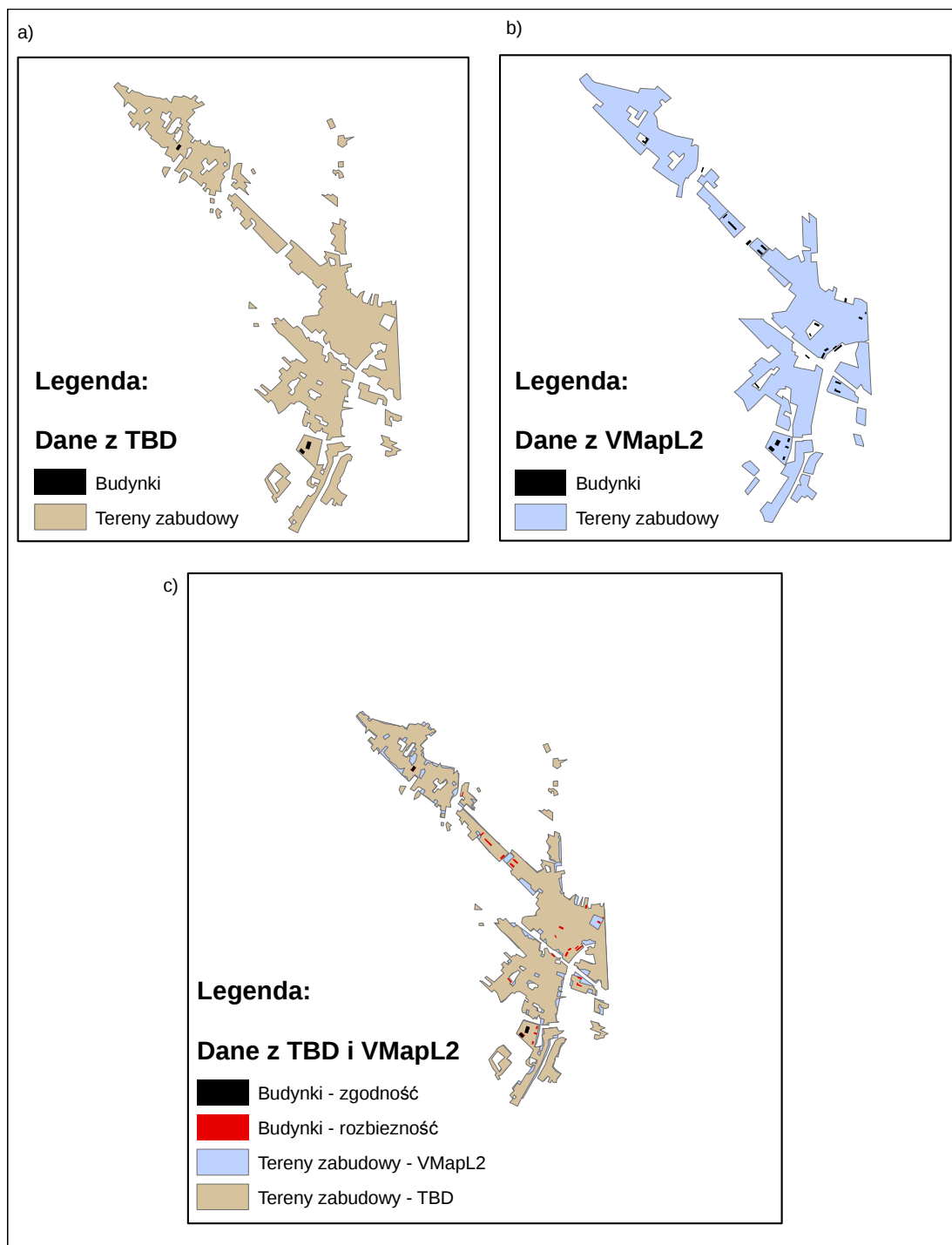
- Terenów zabudowy

Dane pochodzące z TBD cechuje większa szczegółowość i w wyniku przeprowadzonego procesu generalizacji opartego na kryterium rozpoznawalności rysunku uzyskano obiekty, których kontury cechuje większy stopień skomplikowania kształtu. Można zauważyć, że obiekty zawarte w VMapL2 charakteryzują się zbyt dużym stopniem generalizacji w stosunku do ich rozpoznawalności na mapie.

Zgodnie z uzyskanymi wynikami należy stwierdzić, że zaproponowana modyfikacja Bazy Danych Topograficznych oraz obiektywne metody generalizacji jako serwer aplikacji pozwalają na rezygnację z gromadzenia danych w postaci VMapyL2 i uzyskiwanie z TBD map topograficznych w skali 1:50000. Analogicznie możliwe jest uzyskanie map topograficznych w mniejszych skalach, przy odpowiednim rozbudowaniu modelu pojęciowego TBD.



Rys. 55. Obiekty klas PKZB_A i BBBD_A zgromadzone w TBD– przedstawione w skali 1:25000



Rys. 56. Budynki i tereny zabudowy przedstawione w skali 1:50000: a) Obiekty z TBD po przeprowadzonym procesie generalizacji, b) Obiekty z VMapL2, c) Obiekty TBD i VMapL2

8. Podsumowanie i wnioski

W pracy została zaproponowana trójwarstwowa architektura systemu zarządzania Bazą Danych Topograficznych, pozwalającego na uzasadnienie postawionej w pracy tezy. Trzy współdziałające ze sobą warstwy tego systemu umożliwiają generowanie w sposób automatyczny map topograficznych o dowolnej skali. Podstawą systemu jest Baza Danych Topograficznych zmodyfikowana do postaci źródłowej bazy typu MRDB o odpowiedniej strukturze umożliwiającej zastosowanie algorytmów z serwera aplikacji. W serwerze tym zostały zawarte algorytmy dla wykonywania różnych procedur generalizacji, oparte na obiektywnych, niezależnych od użytkownika zasadach. Są to przede wszystkim algorytmy:

- eliminacji i upraszczania kształtu obiektów,
- tworzenia, klasyfikacji i eliminacji regionów drogowych,
- scalania i agregacji obiektów,
- eliminacji konfliktów,
- wyznaczania sposobu wizualizacji obiektów na mapie.

Aby dokonać wyboru algorytmów do serwera aplikacji przeanalizowano proces generalizacji kartograficznej, rozpoczynając od generalizacji manualnej a kończąc na opracowanych całościowych modelach generalizacji. Szeroko oceniono różne grupy algorytmów upraszczania kształtu obiektów liniowych tak, aby wykazać zasadność zastosowania w serwerze aplikacji obiektywnej metody upraszczania i eliminacji obiektów opracowanej przez T.Chrobaka (1999).

Dla określenia struktury Bazy Danych Topograficznych ocenie poddano różne koncepcje opracowywania TBD jako bazy typu MRDB. Analizie poddano także proces modelowania danych, w tym modelowanie danych przestrzennych dla potrzeb generalizacji kartograficznej. Na podstawie ogólnych założeń modelu pojęciowego wektorowej bazy danych topograficznych, wynikających z Wytycznych technicznych TBD (2003), określone zostały ogólne warunki dla struktury tej bazy, oparte na:

- formalnej strukturze danych Molenaara,
- hierarchii klas i klasyfikacji obiektów,
- scalania obiektów w obrębie hierarchii klasyfikacji.

W strukturze tej następnie uwzględniono szczegółowe warunki, umożliwiające zastosowanie operatorów generalizacji, jako serwera aplikacji w procesie tworzenia cyfrowej mapy topograficznej w dowolnej skali.

Dla weryfikacji funkcjonowania systemu zarządzania Bazą Danych Topograficznych przeprowadzono procedury generalizacji dla wybranych superklas obiektów TBD. W ten sposób sprawdzono poprawność modyfikacji struktury Bazy Danych Topograficznych oraz właściwe współdziałanie interfejsu użytkownika z serwerem aplikacji. Algorytmy do generalizacji, należące do serwera aplikacji, zostały zaimplementowane w środowisku GIS/LIS. W pracy przedstawiono schematy tych algorytmów, jak i przykładowe dane wynikowe uzyskane po przeprowadzeniu generalizacji na danych zawartych w zmodyfikowanej Bazie Danych Topograficznych. W celu dokonania oceny danych wynikowych porównano je z danymi zawartymi w bazie danych VMapL2. Wybór nie był przypadkowy, gdyż celem było wykazanie, że możliwe jest zastąpienie baz TBD i VMapL2 jedną bazą. Po uwzględnieniu różnic w modelu pojęciowym obu tych baz danych oraz różnic w zakresie treści VMapL2 z treścią cywilnej mapy topograficznej w skali 1:50000, uzyskano pozytywny wynik przeprowadzonego procesu generalizacji. Możliwe okazało się stwierdzenie, że dysponując Bazą Danych Topograficznych o odpowiedniej strukturze oraz obiektywnymi metodami generalizacji można bez gromadzenia danych w bazie VMapyL2 uzyskiwać z TBD mapy topograficzne w skali 1:50000.

W ten sposób wykazano, że generowanie map topograficznych o dowolnej skali w sposób automatyczny wymaga utworzenia jednej bazy danych przestrzennych, interfejsu użytkownika i serwera aplikacji posiadającego obiektywne algorytmy upraszczania i eliminacji obiektów.

Literatura:

1. Adamski T., Ogrodzki J.: Algorytmy komputerowe i struktury danych. OWPW, Warszawa 2005
2. Albin J.: Geograficzne systemy informacji w Głównym Urzędzie Geodezji i Kartografii. Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacji, Wrocław-Polanica Zdrój 2003
3. Bac-Bronowicz J.: Integracja baz danych przestrzennych dostępnych w zasobie geodezyjnym i kartograficznym – praca wykonana w ramach projektu celowego nr 6 T12 2005C/06552 KBN
4. Bielecka E.: Klasyfikacja danych wg dokumentów normatywnych Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN KT 287 „Informacja geograficzna”. Instytut Geodezji i Kartografii, Komitet Geodezji PAN – Sekcja Geoinformatyki, Warszawa 2006
5. Brassel K., Weibel R.: A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization. International Journal of Geographic Information Systems, 2(3), 1988
6. Buczkowski K.: Relacje przestrzenne. W: Makowski A. „Systemy informacji topograficznej kraju.” OWPW, Warszawa 2005
7. Buttenfield B. P.: A Rule for Describing Line Feature Geometry. in: B. Buttenfield and R. McMaster (Eds.), Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, Wiley, New York 1991
8. Chrobak T.: Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej. UWND AGH, Kraków 1999
9. Chrobak T.: A Numerical Method for Generalizing the Linear Elements of Large-Scale Maps, Based on the Example of Rivers. Cartographica, Volume 37, 2000
10. Chrobak T.: Badanie krzywych łamanych- przekształconym obiektywnym algorytmem globalnym- jako danych geometrycznych uogólnionych. Praca wykonana w ramach badań statutowych nr 11.11.150.478, KBN-AGH Kraków, 2003, niepublikowana
11. Chrobak T.: Komputerowa redakcja kartograficzna wspomagana automatyczną generalizacją. Wyd. Polska Akademia Umiejętności – Geoinformatica Polonica nr.7, Kraków 2005

12. Chrobak T.: Podstawy cyfrowej generalizacji kartograficznej. UWND AGH Kraków 2006
13. Douglas D. H.: Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, 10 (2), 1973
14. Encyklopedia PWN. t.11. Warszawa 1968
15. Gaździcki J.: Lexicon of geomatics (Polish-English). PTIP, Warszawa 2001
16. Gotlib D.: Możliwość wykorzystania analitycznych metod projektowania systemów informatycznych w tworzeniu baz danych przestrzennych na przykładzie topograficznego systemu informacyjnego. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Warszawa 2001
17. Gotlib D., Olszewski R.: Procesy generalizacji w ramach systemu informacji topograficznej – zarys koncepcji. W: Makowski A. „Systemy informacji topograficznej kraju.” OWPW, Warszawa 2005
18. Gotlib D., Olszewski R., Iwaniak I.: Harmonizacja Mapy L2 i TBD. *Geodeta* 3/2006
19. Gruenreich D.:Konzeption und erste Eufahrungen aus der Ausbauphase des digitalen Landschaftsmodell 1:25000 (DLM 25), *Proceedings XIX FIG Congress*, Helsinki 1990
20. Iwaniak A., Paluszyński W., Żyszkowska W.: Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia. *Polski Przegląd Kartograficzny* Tom 30, 1998
21. Jenks G. F.: Lines, computers, and human frailties. *Annals of the Association of American Geographers*, 17, 1981
22. Kilpelainen T.: Multiple representation and knowledge-based generalization of to-pographical data. In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Com. III Vol. XXIX, Part 3B, Washington 1992
23. Kozioł K.: Badanie przydatności teorii grafów w budowie regionów dla sieci dróg kołowych. *Geodezja*, Tom 8, Zeszyt 1, AGH, Kraków 2002
24. Kozioł K.: Przydatność regionów drogowych jako obszarów strukturalnych w automatycznej generalizacji kartograficznej obiektów liniowych. Rozprawa doktorska. AGH, Kraków 2003
25. Kozioł K.: Eliminacja obiektów liniowych z zastosowaniem regionów strukturalnych na przykładzie sieci drogowej. *Roczniki Geomatyki*, Warszawa 2006

26. Kulikowski J. L.: Zarys teorii grafów. PWN, Warszawa 1986
27. Kraak M.J., Omeling F.: Kartografia: wizualizacja danych przestrzennych. PWN, Warszawa 1998
28. Lang T.: Rules for Robot Draughtsman. The Geographical Magazine. Vol XLII, No.1, 1969
29. Laurini R.: A Conceptual Framework for Multiple Representations of Spatial Objects with the Entity-Relationship Approach. Computers, Environment and Urban System 16, 1992
30. Leberl F.L., Olson D., Lichtner W.: ASTRA – A system for automated scale transition. Technical Papers 51st Annual Meeting ASP, Washington 1985
31. Makowski A.: Systemy informacji topograficznej kraju. OWPW, Warszawa 2005
32. McMaster R.B.: Automated line generalization. Cartographica 24 (2), 1987
33. McMaster R.B., Shea, K.S.: Generalization in Digital Cartography. Resource Publications in Geography, Washington, D.C.: Association of American Geographers, 1992
34. Molenaar M.: An Introduction to the Theory of Spatial Object Modeling for GIS. Taylor & Francis, Londyn, 1998
35. Molenaar M.: A formal data structure for 3D vector maps. Proceedings of EGIS'90, Vol.2, Amsterdam, The Netherlands 1990
36. Molenaar M.: Terrain objects, data structures and query spaces. In Geo-Informatik, (ed Schilcher, M.), Siemens-Nixdorf Informationssysteme A.G., Munchen, 1991
37. Molenaar M.: Object hierarchies and uncertainty in GIS or why is standardization so difficult. Geo-Information-Systems, 6(3), 1993
38. Molenaar M.: Multiscale approaches for geo-data. International Archives of Photo-grammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B3, Vienna, Austria 1996
39. Morrison J. L.: A Theoretical Framework for Cartographic Generalization with Emphasis on the Process of Symbolization. International Yearbook of Cartography, 13, 1974
40. Muehrcke P. C.: Map Use: Reading Analysis and Interpretation. 2nd JP Publications, Madison, Wisconsin 1986

41. Muller J.C.: Fractal and Automated Line Generalization. The Cartography Journal, 1987
42. Multimedialna Encyklopedia Powszechna (MEP). Nauka i Oświata, 2003
43. Neygers T. L.: Representing Geographical Meaning. Map Generalization. Making rules for Knowledge Representation. Red B. Buttenfield, R.B. McMaster. Londyn, Longman 1991
44. Nickerson B. G., Freeman H.: Development of a Rule-Based System for Automatic Map Generalization. Proceedings 2nd International Symposium on Spatial Data Handling, 1986
45. Opheim H.: Fast data reduction of a digitized curve. GeoProcessing, Vol. 2, 1982
46. Pachelski W.: Metodologia i język opisu danych przestrzennych (według CEN). Materiały V konferencji Naukowo-Technicznej. Systemy informacji przestrzennej 1996a
47. Pachelski W.: Aspekty Metodyczne projektowania baz danych przestrzennych. Seminarium Sekcji Informatyki Geodezyjnej i Kartograficznej Komitetu PAN nt. Modelowania danych przestrzennych, Warszawa 1996b
48. Pachelski W. 2005; Modelowanie informacji geograficznej. Instytut Geodezji i Kartografii Komitet Geodezji Pan – Sekcja Geoinformatyki, Warszawa 2005
49. Peuquet D. J.: An examination of techniques for remote formatting digital cartographic data/part 1: The raster to vector process. Cartographica, Vol.18, No. 1, 1981
50. Płoński Z.: Słownik Encyklopedyczny – Informatyka. Wydawnictwo Europa, Warszawa 1999
51. Ratajski L.: Metodyka kartografii społeczno-gospodarczej, PPWK, Warszawa 1989
52. Richardson D. E.: Automatic spatial and thematic generalization using a context transformation model. Doctoral dissertation, Wageningen Agricultura University. Ottawa (Canada), R&B Publications, 1993
53. Robinson A., Sale R., Morrison J. Podstawy kartografii. Warszawa, PWN 1988
54. Saliszczev K.S.: Kartografia ogólna. PWN, Warszawa 1998
55. Shea K.S., McMaster R.B.: Cartographic generalization in a digital environment: when and how to generalize. Proceedins of the Autocarto 9, 9th International Symposium on Computer Assisted Cartography, Baltimore, USA, April, 1989

56. Strahler A.N.: Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: V.T. Chow (ed.) Handbook of applied hydrology. 4th ed. McGraw-Hill, New York 1964
57. Subieta K.: Obiektość w projektowaniu i bazach danych. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998
58. Sydow E.: Drei Kartenklippen. Geographisches Jahrbuch, 1866
59. Szostak M., Koziół K.: Generalizacja warstwy zabudowy z zastosowaniem regionów drogowych na przykładzie Bazy Danych Topograficznych. Roczniki Geomatyki, Warszawa 2006
60. Thompson P.J.: Data with semantics: Data models and data management. Van Nostrand Reinhold, New York 1989
61. Tobler W.: Numerical map generalization. Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Red. J. Nystuen, Ann Arbor, University of Michigan 1966
62. Vanzella L.: Computer assisted map generalization in Alberta. Euro Carto 7, Enschede, the Netherlands 1988
63. Weibel R.: Map generalization In the context of digital systems. Cartography and GIS, vol. 22, no 4, 1995
64. Wielka Internetowa Encyklopedia Multimedialna, <http://wiem.onet.pl/>
65. Wytyczne techniczne BAZA DANYCH TOPOGRAFICZNYCH. GUGiK, Warszawa 2003
66. Zycor I.: Manual and Automatem Feature Displacement. Report for the U.S. Army Engineer Topographic Laboratories, Fort Belvoir, Virginia 1984

Spis rysunków:

Rys. 1. Algorytm Jenksa: a) odległości prostopadłej, b) kątowy.....	13
Rys. 2. Algorytm Langa	14
Rys. 3. Algorytm Douglasa.....	16
Rys. 4. Hierarchia wierzchołków upraszczanej linii łamanej	19
Rys. 5 Struktura pojęciowa cyfrowej generalizacji.....	23
Rys. 6. Aspektu „why” procesu generalizacji cyfrowej.....	23
Rys. 7. Aspekt „when” procesu generalizacji cyfrowej	24
Rys. 8. Aspekt „how” procesu generalizacji cyfrowej.....	25
Rys. 9. Proces projektowania systemu	26
Rys. 10. Proces modelowania pojęciowego	27
Rys. 11. Ilustracja grafu płaskiego niezorientowanego	31
Rys. 12. Organizowanie danych przestrzennych: (a) wybór z rzeczywistości na podstawie modelu danych, (b) wybrane dane zapisane w formacie rastrowym lub wektorowym (cyfrowy model krajobrazu, (c) charakter danych określa poziom przeszukiwania, (d) określa, jaką mapę można opracować	36
Rys. 13. Przykłady relacji: a) metrycznych, b) uproszczonych	40
Rys. 14. Przepływ danych pomiędzy wektorowymi bazami danych.....	45
Rys. 15. Rozdzielenie baz danych przestrzennych od opracowań kartograficznych.....	47
Rys. 16. System oznaczeń kodowych obiektów	51
Rys.17. Zbiór elementarnych relacji przestrzennych wykorzystany przy modelowaniu danych topograficznych	52
Rys. 18. Koncepcja klasyczna.....	55
Rys. 19. Koncepcja baz pochodnych	56
Rys. 20. Koncepcja bazy wieloskalowej.....	56
Rys. 21. Koncepcja źródłowej bazy danych	57
Rys. 22. Trójwarstwowa architektura systemu zarządzania bazą danych topograficznych.....	59
Rys. 23. Relacje hierarchiczne między obiektami, klasami i ich atrybutami	62
Rys. 24. Hierarchia klasyfikacji i podejścia do generalizacji na przykładzie klasy „Tereny chronione”	64

Rys. 25 Podstawowa struktura FDS	65
Rys. 26. FDS dla jednowartościowych map wektorowych w przestrzeni dwuwymiarowej	67
Rys. 27. Proces upraszczania linii łamanej otwartej	69
Rys. 28. Uzupełniający warunek dla wzajemnej rozpoznawalności punktów w segmentach upraszczanej linii łamanej	71
Rys. 29. Etapy i progi generalizacji	74
Rys. 30. Fragment TBD: a) sieć drogowa jako graf planarny z podziałem na drogi krajowe – czerwony, wojewódzkie – zielony, powiatowe – brązowy, pozostałe – czarny, b) regiony elementarne utworzone na podstawie węzłów i krawędzi.....	76
Rys. 31. Pola powierzchni figur wzorcowych: trójkąta, prostokąta, okręgu	78
Rys. 32. Scalanie obiektów przez tworzenie regionów.....	82
Rys. 33. Etapy generalizacji i scalania w procesie generalizacji obiektów	83
Rys. 34. Przykład połączeń między obiektami na różnych poziomach scalania	84
Rys. 35. Sposób reprezentacji osi cieków. Wykorzystanie „sztucznych łączników”	89
Rys. 36 Sposób reprezentacji osi cieków w obrębie zbiorników wodnych	89
Rys. 37. Klasyfikacja sieci rzek według Strahlera	92
Rys. 38. Schemat algorytmu dla ustalenia rzędu obiektów klasy SWRK	93
Rys. 39. Ustalenie rzędu poszczególnych odcinków rzek i kanałów dla przykładowych danych zawartych w TBD	94
Rys. 40. Schemat algorytmu dla tworzenia cieków o ustalonym rzędzie.....	95
Rys. 41. Schemat algorytmu dla ustalenia identyfikatora dla utworzonych cieków	96
Rys. 42. Ustalenie identyfikatora dla utworzonych cieków z odcinków o określonym rzędzie	97
Rys. 43. Schemat algorytmu dla procesu eliminacji i upraszczania kształtu osi cieków	99
Rys. 44. Obiekty superklasy SWRK_L po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali mapy: 1:100000, 1:250000, 1:500000 – przedstawione w skali 1:100000	101

Rys. 45. Obiekty superklasy SWRK po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali mapy: 1:100000, 1:250000, 1:500000 - przedstawione w odpowiednich skalach	102
Rys. 46. Etapy tworzenia prostokąta zewnętrznego.....	109
Rys. 47. Etapy procesu „prostokątowania” budynku.....	111
Rys. 48. Symbolizacja budynku – „prostokąt ostateczny”	113
Rys. 49. Identyfikacja i eliminacja konfliktu pomiędzy dwoma budynkami: a) budynki, podlegające sprawdzeniu, b) utworzenie „buforów rozpoznawalności” i sprawdzenie ich przecinania się, c) połączenie budynków	115
Rys. 50. Schemat algorytmu dla procesu generalizacji obiektów klasy „Budynki”	116
Rys. 51. Proces generalizacji obiektów klasy „Budynki”	117
Rys. 52. Tereny zabudowy TBD: a) dane pierwotne, b) dane po wykonaniu „buforowania” dla skali 1:50000	123
Rys. 53. Schemat algorytmu dla procesu generalizacji obiektów superklasy „Kompleksy pokrycia terenu”	125
Rys. 54. Obiekty superklasy SWRK_L z TBD po przeprowadzonym procesie generalizacji dla skali mapy 1:50000 oraz obiekty z VMapL2 odpowiadające tej klasie – przedstawione w skali 1:50000.....	130
Rys. 55. Obiekty klas PKZB_A i BBBD_A zgromadzone w TBD – przedstawione w skali 1:25000	133
Rys. 56. Budynki i tereny zabudowy przedstawione w skali 1:50000: a) Obiekty z TBD po przeprowadzonym procesie generalizacji, b) Obiekty z VMapL2, c) Obiekty TBD i VMapL2	134

Spis tabel:

Tab. 1. Przykładowe obiekty i ich opisy semantyczne	35
Tab. 2. Zestawienie wartości pól powierzchni figur wzorcowych: trójkąta, prostokąta, okręgu	78
Tab. 3. Przykładowe pola powierzchni wzorcowej na mapie, gdy zmienia się skala i wielkość symbolu	79
Tab. 4. Schemat klasyfikacji „Sieci cieków”	87
Tab. 5. Struktura danych dla „Sieci cieków” – klasa „Odcinki rzek i kanałów”	90
Tab. 6. Struktura danych dla „Sieci cieków” – tabela CIEKI.....	90
Tab. 7. Klasyfikacja obiektów klasy „Budynki”	105
Tab. 8. Schemat klasyfikacji obiektów: superklasy PK TBD, mapy topograficznej w skali 1:10000 i 1:50000	120
Tab. 9. Podział cieków na klasy na mapie topograficznej 1:50000 i VMap L2	129