

Joanna Cwiąkała (asia1989-17@o2.pl)

Agnieszka Gil (agnieszka.gil@wp.pl)

Witold Jucha (witold.jucha@gmail.com)

Anna Szlachta (ania\_szlachta@poczta.fm)

*Instytut Geografii Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie*

*ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków, Polska*

## **Geoinformacyjne opracowanie trasy samochodu ciężarowego – próba opracowania modelu dla zbioru i transportu odpadów komunalnych w mieście**

### **GIS study of a truck's route – test of making model to collect and carry of waste in the town**

#### **STRESZCZENIE**

Systemy Informacji Geograficznej (GIS) znajdują praktyczne zastosowanie na wielu rodzajach działalności człowieka, w tym gospodarce odpadami. W tej dziedzinie można za ich pomocą na przykład wyznaczyć odpowiednią lokalizację składowiska, a także wyznaczyć odpowiednią trasę zbioru i przewozu śmieci do zakładu sortującego i składowującego odpady.

W niniejszej pracy do próby rozwiązania problemu zbioru i transportu odpadów komunalnych użyto metody opartej na matematycznej Teorii Grafów (problem dylematu komiwojażera). Jako miejsce badań wybrano miasto Żywiec (woj. śląskie). Do wykonania zadania użyto programów darmowych dostępnych na licencji open source – Quantum GIS i GRASS. Wynikiem jest model teoretyczny – trasa ciężarówki, która po dodaniu wymienionych w artykule dodatkowych czynników modyfikujących jej przebieg nadaje się do praktycznego zastosowania.

Artykuł powstał na bazie referatu wygłoszonego na sesji naukowej 37. Ogólnopolskiego Zjazdu Studenckich Kół Naukowych Geografów, który odbył się w Toruniu w dniach 10-14IV2013.

**Słowa kluczowe:** Teoria Grafów, dylemat komiwojażera, analizy sieciowe

**Key words:** Graph Theory, salesman's dilemma, network analyses

#### **WSTĘP**

Systemy Informacji Geograficznej (GIS) pozwalają rozwiązać wiele problemów naukowych oraz praktycznych. Wykorzystują one w tym celu wiele wcześniej stworzonych metod badawczych stosowanych w geografii i innych naukach. Wśród nich duże znaczenie mają kartowanie, analizy statystyczne lub matematyczna Teoria Grafów, będąca podstawą niniejszego opracowania.

W artykule przygotowano opis metody tworzenia w programie geoinformacyjnym optymalnej trasy samochodu, mającego dojechać do wielu punktów w obrębie miasta. Przypadkiem użytym w opracowaniu był samochód

specjalny – śmieciarka, zbierający odpady ze zbiorników komunalnych rozmieszczonych na terenie miasta Żywiec (woj. śląskie).

Celem głównym było sprawdzenie przydatności darmowych programów typu open source i ich narzędzi do przeprowadzenia obliczeń. Do realizacji użyto oprogramowania GRASS (Geographic Resources Analysis Support System – <http://grass.osgeo.org/>, Nering 2009).

Cel cząstkowy zdefiniowano jako próbę wyznaczenia najbardziej ekonomicznej trasy przejazdu śmieciarki. Przedmiotem badań było rozmieszczenie zbiorników odpadów komunalnych w Żywcu.

Artykuł ma charakter metodyczny. Problem wyznaczenia trasy samochodu został w nim rozwiązany na poziomie modelu teoretycznego. Do zastosowania go brakuje w nim jedynie uwzględnienia rzeczywistych czynników, takich jak parametry techniczne samochodu, zmiany w organizacji ruchu itd.

## **PODSTAWOWE POJĘCIA, TEORIA GRAFÓW**

W artykule użyto specjalistycznych pojęć i rozróżnień, których znaczenie zaczerpnięte z literatury przedmiotu zamieszczono poniżej:

**Analiza sieciowa (GIS)** – funkcja programu geoinformatycznego służąca do wykonywania wektorowych analiz opierających się na matematycznej Teorii Grafów, pozwalająca na stworzenie sieci na podstawie warstwy wejściowej (liniowej), zarządzanie nią (usuwanie/dodawanie węzłów), obliczenia tras itd. (Longley i in. 2008).

**Dylemat komiwożacza** – jeden z problemów w zastosowaniu praktycznym Teorii Grafów, polegający na ustaleniu trasy przemieszczania się środka transportu (piechura, samochodu itd.) generującej najmniejsze koszty lub najbardziej efektywne (najszybsze) poruszanie się (Generowicz, Gaska 2012).

**Geoinformacja, geoinformatyka** – kształtujący się obecnie nowy kierunek badawczy będący połączeniem trzech nowoczesnych technologii i metod badań: Systemów Informacji Geograficznej (ang. Geographic Information System - GIS), Teledetekcji oraz systemów globalnego określania pozycji – GPS, Glonass, Galileo itd. (Urbański 2011).

**Odpady, śmieci** – każda substancja lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest zobowiązany (Dz. Ust. 2013).

**Recykling** – jeden ze sposobów odzysku odpadów w celu ponownego ich wykorzystania jako tzw. surowców wtórnych w procesie produkcji produktów lub materiałów. Drugim sposobem jest przetworzenie odpadu w celu wykorzystania energii w nim zawartej do produkcji energii/paliw (Dz. Ust. 2013).

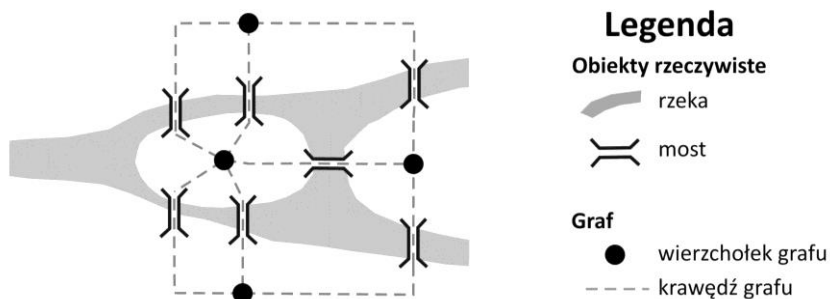
**Topologia danych (GIS)** – dział w GIS zajmujący się relacjami przestrzennymi pomiędzy poszczególnymi obiektami opisanymi w układzie współrzędnych (stykanie się, przecinanie, zawieranie się w obiekcie itd.), stosujący zasady topologii matematycznej. Edycja topologiczna danych powoduje zachowanie ustalonych relacji (np. przestrzennego stykania się węzłów) niezależnie od zmiany kształtu obiektów (Urbański 2011).

**Warstwa wejściowa (GIS)** – warstwa zawierająca dane pierwotne, służące do dalszych opracowań, wykonywania na nich obliczeń i analiz. Zazwyczaj wykonana ręcznie (np. wektoryzacja materiałów źródłowych, pomiar z użyciem GPS) na początku wykonywania projektu GIS (Longley i in. 2008).

**Węzeł (GIS)** – punkt leżący na linii w warstwie liniowej lub sieci (patrz: analiza sieciowa), w którym zaczynają się dwa lub więcej odcinków tworzących linię/siec. Ustawienie węzłów na wejściowej warstwie liniowej ma kluczowe znaczenie dla dalszej analizy.

Teoria Grafów jest działem matematyki i informatyki zajmującym się grafami – strukturami przestrzennymi służącymi do wyrażania relacji pomiędzy danymi (Lange 2012). Graf jest zbiorem wierzchołków (w informatyce i GIS – węzłów grafu, ang. node), które mogą być połączone ze sobą dowolną liczbą krawędzi reprezentujących relacje pomiędzy wierzchołkami (Narsingh 2004). W zastosowaniach praktycznych Teorii Grafów zarówno wierzchołki, jak i krawędzie mogą reprezentować rzeczywiste obiekty: w niniejszym artykule wierzchołki stanowią odzwierciedlenie zbiorników na śmieci, natomiast krawędzie symbolizują drogi pomiędzy nimi.

Za twórcę Teorii Grafów uważa się Leonarda Eulera (1707-1783), który w 1736 roku opublikował pracę pt. „Problem mostów królewieckich”. Zawierała ona pojęcie grafu, a także podstawy teoretyczne dla dziedzin matematyki, nazwanych potem Teorią Grafów i Topologią. Graf „Mosty Królewieckie” stanowił zadanie logiczne: 7 mostów, łączących części miasta położone na brzegu rzeki i dwóch wyspach rzecznych (Ryc. 1). Zadaniem wyznaczonym przez Eulera było wyznaczenie takiej trasy przejścia przez wszystkie mosty, aby po każdym z nich przejść tylko raz – zadanie jest niemożliwe do wykonania (Narsingh 2004). Współcześnie Teoria Grafów jest stosowana w informatyce, inżynierii (Kozioł 2002), a jednym z jej zastosowań praktycznych są analizy sieciowe wykonywane w systemach geoinformacyjnych. W analizach sieciowych GIS wykorzystuje się zazwyczaj algorytm Dijkstry, lub algorytm dylematu komiwojażera (Generowicz, Gaska 2012; Lange 2012).



Ryc.1. Graf „Mosty Królewieckie” Leonarda Eulera (źródło: opracowanie własne).

## GOSPODARKA ODPADAMI, SPECYFIKA TRANSPORTU ODPADÓW

Problematyka usuwania z przestrzeni życia człowieka zużytych i zbędnych produktów wytworzonych przez niego samego stanowi przedmiot zainteresowania badawczego ze strony teoretycznej i praktycznej wielu nauk oraz inżynierii. Są to przede wszystkim inżynieria środowiskowa, materiałowa, ochrony środowiska, a także geografia i gospodarka przestrzenna. Gospodarka odpadami jest zatem dziedziną interdyscyplinarną:

- inżynieria środowiska, inżynieria materiałowa: skupia się na rozwiązywaniu problemów związanych z segregacją, transportem, składowaniem, utylizacją

i ponownym wykorzystaniem (recykling) odpadów, a także nadzorowaniem budowy, użytkowania i likwidacji składowisk;

- geografia, ochrona środowiska i gospodarka przestrzenna: ich zadaniem jest ocena oddziaływania na środowisko składowisk odpadów, wyznaczenie za pomocą narzędzi geoinformacyjnych najlepszych lokalizacji składowisk oraz trasy zbioru i transportu odpadów do miejsca składowania;
- nauki ekonomiczne: optymalizacja zużycia produktów, analiza możliwości ich powtórnego wykorzystania pod kątem opłacalności;
- nauki społeczne: zmiana mentalności ludzi, kształtowanie postaw segregacji śmieci, właściwej utylizacji odpadów niebezpiecznych itp.

Zbioru i transportu odpadów dokonuje się zazwyczaj przystosowanymi do tego celu pojazdami specjalnymi, stosownie oznakowanymi. Wynika to zarówno ze sposobu odbioru od wytwarzających odpady (wiele rozproszonych źródeł, lokalnie położonych blisko siebie), jak i samej natury odpadów (mogą zawierać niebezpieczne substancje, wydzielać brzydki zapach, być brudne). Poniżej zebrano cechy odróżniające sposób poruszania się samochodu – śmieciarki od innego samochodu ciężarowego:

- konieczność każdorazowego dotarcia do wszystkich źródeł odpadów (zbiorników) podczas przejazdu; nie można żadnego pominąć;
- masa pojazdu wzrasta wraz z przebytą drogą;
- podczas odbioru odpadów ze zbiorników, gdy odległości między nimi wynoszą mniej niż 100 m, obsługa śmieciarki może przemieszczać się pozostając na zewnątrz pojazdu, na specjalnie przygotowanych rampach i trzymając się uchwytów; kierowca jest wtedy zobowiązany ograniczyć prędkość samochodu do 15 km/h; nie może także cofać (Instrukcja... 2012).

## **METODYKA I OPIS WYKONANIA**

W artykule użyto dwóch metod pozyskania danych – wektoryzacji mapy oraz pomiaru GPS. Tę część zadania wykonano w programie Quantum GIS (Quantum GIS Project – <http://qgis.org/>). Następnie zaimportowano dane do programu GRASS (Geographic Resources Analysis Support System – <http://grass.osgeo.org/>), w którym dokonano operacji na danych wektorowych stosując algorytm dylematu komiwożera. Wykorzystano do tego moduł o nazwie Analizy Sieciowe – pod tą nazwą występuje on także w innym oprogramowaniu (np. w programie ArcGIS).

Aby wyznaczyć trasę (graf), wykonano następujące czynności:

1. zebranie danych: pomiar GPS (lokalizacja zbiorników komunalnych), prace kameralne, wektoryzacja materiałów źródłowych (przygotowanie warstw: drogi, granice administracyjne).
2. ustawienie topologii, naniesienie wstępnych poprawek.
3. wykonanie analizy sieciowej.
4. naniesienie ręcznych poprawek na graf wynikających ze specyfiki niektórych dróg (np. usunięcie zawróceń samochodu na drogach jednokierunkowych).
5. opracowanie wyników w formie map i tabel.

Podczas wektoryzacji warstwom wejściowym nadano atrybuty (Tab. 1).



Następne kroki wykonano w systemie GRASS. Utworzono w tym celu bazę danych GRASS, zawierającą nową lokację (odwzorowanie, układ odniesienia, położenie obszaru badań) oraz mapset (katalog zbioru map GRASS), do którego zaimportowano przygotowane wcześniej warstwy wektorowe (Tab. 2). Czynności te są pierwszymi operacjami, jakie wykonuje się podczas pracy z tym oprogramowaniem (Netzel 2000). W dalszej pracy zajęto się przygotowaniem sieci i obliczeniem trasy. Zadanie zrealizowano zgodnie z tabelą 2. przy użyciu poszczególnych modułów GRASS.

**Tab.2. Czynności wykonane w systemie GRASS w celu otrzymania wyniku (źródło: opracowanie własne).**

| Lp. | Czynność                   | Moduł GRASS    | Opis czynności   |
|-----|----------------------------|----------------|--|
| 1.  | Import warstw              | v.in.ogr       | Import warstw shp („Drogi”, „Zbiorniki”) do mapsetu GRASS        |
| 2.  | Przygotowanie sieci        | v.net          | Usunięcie węzłów z warstwy „Drogi”                               |
| 3.  | Dodanie wierzchołków grafu | v.net.nodes    | Dodanie nowych węzłów (z warstwy punktowej „Zbiorniki”) do sieci |
| 4.  | Wyznaczenie trasy          | v.net.salesman | Obliczenie najkrótszej trasy łączącej wszystkie nowe węzły       |

Obliczonym wynikiem był graf, którego wierzchołkami były punkty reprezentujące zbiorniki komunalne na śmieci, a krawędziami – linie pokazujące najkrótszą trasę, którą samochód może przemieścić się między nimi. Ostatnią czynnością była kontrola wyniku oraz naniesienie ręcznych poprawek wynikających z organizacji ruchu (drogi jednokierunkowe). Przy krawędziach, których długość (odległość między węzłami) wynosiła w terenie mniej niż 100 m, zmieniono atrybut prędkości z wartości podanej przez program na 15 km/h (mając na uwadze specyfikę poruszania się pojazdu, opisaną wcześniej).

## **STUDIUM PRZYPADKU – ZBIÓR ODPADÓW NA TERENIE ŻYWCA**

Żywiec jest miastem przemysłowym liczącym około 32 tys. mieszkańców, znajdującym się na południu województwa śląskiego. Stanowi węzeł komunikacyjny i lokalny ośrodek administracyjny (miasto powiatowe).

Za gospodarkę odpadami w mieście odpowiada przedsiębiorstwo „Beskid – Żywiec” sp. z o.o. należące do samorządu (<http://www.beskid-eko.pl/>). Do zadań spółki należy wywóz i sortowanie odpadów z terenu powiatu żywieckiego, prowadzenie składowiska odpadów oraz prowadzenie kompostowni. Zakład opiekuje się także miejskim schroniskiem dla bezdomnych zwierząt. W przypadku wywozu odpadów ze zbiorników komunalnych odbywa się to przy użyciu samochodów specjalnych dwóch marek i typów: Iveco (Fot. 1) oraz Star 200 (Fot. 2).



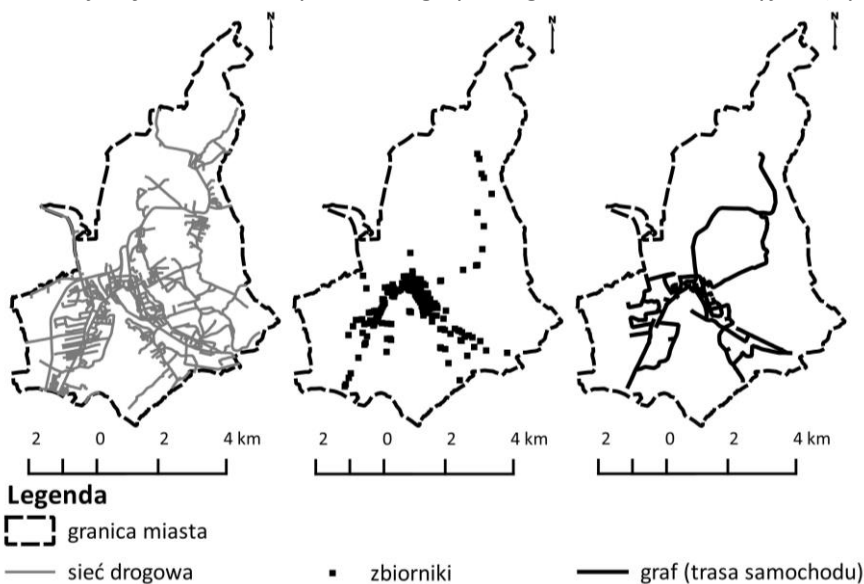
Fot.1. Samochód Iveco spółki „Beskid – Żywiec” (źródło: fotografował W. Jucha, 2013)



Fot.2. Samochód Star 200 spółki „Beskid – Żywiec” (źródło: fotografował W. Jucha, 2013)

Sieć dróg w centrum miasta charakteryzuje się wąskimi, ciasnymi ulicami, z których bardzo wiele jest jednokierunkowych. W związku z dużym natężeniem ruchu tranzytowego odbywającego się w mieście sukcesywnie są budowane nowe drogi o charakterze obwodnic, a niektóre arterie są przystosowywane do ruchu o zwiększonej prędkości. Najważniejszą inwestycją drogową ostatnich lat jest budowa drogi ekspresowej S-69 łączącej przejście graniczne na Słowację w Zwardoniu z węzłem drogowym na S-1 w Bielsku-Białej. Newralgicznymi punktami sieci drogowej w mieście są dwa mosty drogowe na rzece Sole – wyłączenie dowolnego z nich z ruchu powoduje paraliż komunikacyjny.

Większość zbiorników komunalnych ustawionych przy chodnikach i przystankach autobusowych na terenie Żywca znajduje się w dzielnicy Śródmieście, położonej w południowej części obszaru wyznaczonego przez granice administracyjne. (Ryc. 3).



Ryc.3. Sieć drogowa, lokalizacja komunalnych zbiorników odpadów oraz trasa samochodu ciężarowego obliczona przy użyciu algorytmu dylemat komiwojażera na tle granic administracyjnych Żywca (źródło: opracowanie własne).

Obliczona trasa samochodu ma charakter zamkniętej pętli o długości prawie 50 km w terenie. Ma ona początek i koniec umieszczony przy zakładzie odbierającym odpady, znajdującym się w zachodniej części miasta. Parametry trasy zostały zebrane w tabeli 3.

**Tab.3. Parametry otrzymanej trasy zbioru i transportu odpadów w Żywcu (źródło: opracowanie własne).**

| Parametr  | Wynik       |
|---|-------------|
| Dystans   | 49,4 km     |
| Liczba wierzchołków grafu (zbiorniki + początek/koniec trasy)                   | 263         |
| Liczba krawędzi grafu (przejazd drogą do każdego zbiornika + powrót do zakładu) | 264         |
| Łączny czas potrzebny do pokonania dystansu                                     | 1 h 28 min  |
| Łączny czas załadunku   | 4 h 23 min* |
| Łączny czas potrzebny do wykonania zadania (przejazd + zbiór odpadów)           | 5 h 51 min* |

\* Założenie: 1. zbiornik w ciągu 1. Minuty

## ANALIZA WYNIKÓW

Trasa jest modelem teoretycznym spełniającym przyjęte założenia ekonomiczne (najkrótsza trasa). Uwzględniona została w nim specyfika poruszania się pojazdu specjalnego „śmieciarka” i założenia wynikające z przepisów ruchu drogowego. Idea sposobu wykonania przedstawiona w niniejszym artykule jest poprawna. Do zastosowania praktycznego brakuje jednak uwzględnienia jeszcze wielu czynników, które w tym przypadku zostały pominięte. Dalsze doskonalenie wymaga kontaktu z zakładem, a najlepiej – z konkretnymi osobami bezpośrednio zajmującymi się wywozem odpadów. Pojawiające się wątpliwości wynikające ze znacznego uproszczenia modelu to:

1. Trasa jest wyznaczona dla jednego samochodu – czy pojemność ładowni jest wystarczająca, aby podczas zbioru dokonać przejazdu tylko jeden raz?
2. O ile wzrasta masa pojazdu wraz ze wzrostem odległości? Jest to parametr potrzebny do obliczenia kosztów eksploatacyjnych.
3. Zbioru dokonuje samochód ciężarowy o dużych gabarytach, który nie będzie miał możliwości zawracania w każdym miejscu, gdzie jest to dozwolone.
4. Badaniem objęto wyłącznie obszar miasta. W otaczających Żywiec gminach również stoją zbiorniki komunalne, które są prawdopodobnie opróżniane podczas tego samego przejazdu samochodu/samochodów.

Dokonywanie obliczeń trasy dla dwóch i więcej samochodów wymagałoby ręcznego podzielenia warstwy „Zbiorniki” na kilka części i wykonanie kilku wariantów przejazdu tych pojazdów, aby wybrać wariant optymalny. W przypadku zbioru odpadów najrozsądniejszym wariantem zniwelowania punktu 3. wydaje się eliminacja możliwie największej liczby zawróceń, do miejsc, w których jest to niezbędne.

Obliczony czas wykonania zadania jest również parametrem wymagającym korekty, gdyż nie uwzględnia on np. przyspieszania/hamowania pojazdu. Osobną kwestią staje się zgodność przyjętych założeń z instrukcji BHP (2012) ze stanem rzeczywistym. Przykładowo, ograniczenie prędkości do 15 km/h zastosowano do



dystansu poniżej 100 m. Jednak w praktyce obsługa podjeżdża do zbiorników (pozostając na zewnątrz, na rampie z tyłu pojazdu) nie tylko na większe odległości, ale też z większą szybkością, zwłaszcza na prostych odcinkach drogi.

## WNIOSKI

W związku z wypisanymi w analizie wynikami wątpliwościami należy postawić pytanie: Czy obliczona przez program trasa nadaje się do zastosowania w praktyce? Na podstawie wykonanej analizy można wysunąć następujące wnioski:

1. Trasa mimo uproszczeń wynikających z przyjętych założeń jest prawdopodobnie bardziej ekonomiczna od dotychczas stosowanej.
2. Opracowanie powstało na bazie ogólnodostępnych / samodzielnie zebranych danych oraz programów. Rozszerzenie projektu o informacje, które posiada zakład zajmujący się wywozem śmieci pozwoliłoby na jego udoskonalenie i stworzenie najbardziej optymalnej trasy (lub kilku tras, dla większej liczby samochodów).
3. Opisany w artykule sposób wykonania analizy sieciowej w oparciu o Teorię Grafów nadaje się do innych zastosowań, związanych z: logistyką i transportem, planowaniem tras turystycznych, kurierskich itd.

## PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono i opisano krok po kroku konstrukcję modelu sieci wektorowej w oprogramowaniu geoinformacyjnym. Użyto w nim danych uzyskanych bez kosztów oraz programu darmowego, udostępnionego na licencji open source. Otrzymany model spełnia podstawowe wymagania (jest poprawny, rozwiązuje problem zbioru i transportu odpadów do zakładu zajmującego się ich wywozem, sortowaniem i składowaniem). Do zastosowania go w praktyce należy go uzupełnić o wymienione w analizie dane praktyczne.

Prezentowana ścieżka postępowania w module GRASS „analizy sieciowe” nadaje się także do innych zastosowań praktycznych. Program ten jest do tego w pełni przygotowany i wystarczający. Zawiera on ponadto wiele innych funkcji i algorytmów przydatnych w analizach sieciowych, nieopisanych w tym artykule. Cel główny oraz częściowy postawione we wstępie zostały osiągnięte.

## LITERATURA:

Generowicz A., Gaska K. (2012). *Wykorzystanie systemów GIS w gospodarce odpadami*. [w:] *ArcanaGIS – magazyn dla użytkowników oprogramowania ESRI* (nr 6/2012). Warszawa: wyd. ESRI Polska. s. 36-38.

Kozioł K. (2002). *Badanie przydatności teorii grafów w budowie regionów dla sieci dróg kołowych*. [w:] *Geodezja / Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie* (t. 8, z. 1). Kraków: Wyd. AGH., s. 47-56.

Lange K. (2012). *Zastosowanie Teorii Grafów w Geograficznych Systemach Informacyjnych*. [w:] I ogólnopolska konferencja naukowa „GIS w nauce”. Mat. Konferencyjne. Łódź.

Longley P., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. (2008). *GIS – Teoria i praktyka*. Warszawa: Wyd. Wydawnictwo naukowe PWN. s. 210-212.

Narsingh D. (2004). *Graph theory with applications to engineering with computer science*. New Delhi: Wyd. PHI. s. 15-23.

Nering K. (2009). *System GRASS – możliwości i zastosowania część 1*. [w:] *Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej* (z. 1-Ś). Kraków: Wyd. PK. s. 107-118.

Netzel P. (2000). *GIS – GRASS Wprowadzenie do systemu. Skrypt*. Wrocław: Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego. s. 11-20.

Urbański J. (2011). *GIS w badaniach przyrodniczych*. Gdańsk: Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego. s. 10-20.

#### **Akty prawne i dokumenty inne:**

*Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach*. (2013), Dz. Ust. z 2013. nr 0. poz. 21. s. 3-4.

*Instrukcja BHP obsługi pojazdu specjalnego „śmieciarka”*. (2012). Materiały ze strony Ministerstwa Środowiska – <http://mos.gov.pl/> [dostęp z dnia: 01.12.2013]

#### **Źródła internetowe:**

Geographic Resources Analysis Support System – <http://grass.osgeo.org/> [dostęp z dnia: 01.12.2013]

Serwis spółki „Beskid – Żywiec” – <http://www.beskid-eko.pl/> [dostęp z dnia: 01.12.2013]

Quantum GIS Project – <http://qgis.org/> [dostęp z dnia: 01.12.2013]

#### *cytacja:*

Ćwiąkała J., Gil A., Jucha W., Szlachta A. (2013). Geoinformacyjne opracowanie trasy samochodu ciężarowego – próba opracowania modelu dla zbioru i transportu odpadów komunalnych w mieście: *Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Darmowe dane i open source w badaniach środowiska.*, 2, 8-17.