

Modelowanie tras odbioru odpadów komunalnych

Postęp technologiczny w krajach rozwijających się sprawił, że wytwarzamy coraz większe ilości odpadów. Szacuje się, że każdy człowiek w ciągu roku produkuje około 200 kg śmieci. Problem gospodarki odpadami jest jednym z podstawowych problemów skupisk ludzi, jakimi są miasta. Sposobem na pozbycie się odpadów jest ich składowanie na wysypiskach śmieci, zatem wywóz ich wymaga rozwiązania wielu logistycznych problemów, usprawniającego proces transportu. Jednym ze sposobów zaplanowania najbardziej korzystnej trasy są analizy sieciowe dostępne w środowisku GIS.

Problemy projektowania trasy odbioru odpadów

Transport odpadów wykonywany jest zazwyczaj specjalnymi pojazdami, które są do tego odpowiednio przystosowane. Wynika to ze sposobu odbioru odpadów jak i z samych odpadów, które mogą być niebezpieczne czy wydzielać nieprzyjemny zapach. Sposób poruszania się przystosowanego do transportu odpadów samochodu wyróżnia się pośród przejazdów standardowych pojazdów ciężarowych. Jest to głównie spowodowane formą przejazdu, na która mają wpływ poniższe cechy:

- dotarcie do każdego punktu odbioru,
- zmniejszona prędkość między punktami, które dzieli odległość około 150m, która spowodowana jest potrzebą zatrzymania się na każdym punkcie,
- wraz z przebytą drogą masa pojazdu zwiększa się.

Takie własności przejazdu powodują, że podczas planowania trasy odbioru odpadów należy wziąć pod uwagę odpowiednie parametry, które pozwolą zaplanować trasę. Projektując trasę należy uwzględnić ograniczoną pojemność pojazdu, drogi po

jakich powinien się poruszać oraz wszelkie ich ograniczenia, najbardziej sprawną obsługę miasta która ograniczy koszty. Powyższe założenia są dopiero początkiem planowania trasy. Dla konkretnego pojazdu trasa z reguły projektowana jest osobno, wybierany jest rejon który powinna obsługiwać, a następnie zbierane są informacje o danym miejscu głównie dotyczące liczby użytkowników, dzięki której łatwo oszacować wyprodukowane w danym obszarze odpady. W projekcie takiej trasy należy uwzględnić również: rodzaj pojazdu, prędkość ładowania, czas rozładunku oraz informacje określająca sposób odbioru m.in. czy pojazd odbiera odpady po jednej czy po obu stronach jezdni. Wykorzystując wszystkie te wiadomości i założenia możliwe jest stworzenie najbardziej optymalnej drogi, czyli takiej która wykorzystując wszystkie dane jest najbardziej korzystna według założonych ograniczeń. Dzięki zastosowaniu oprogramowań GIS możliwe jest stworzenie optymalnej trasy i zastosowanie dla niej wybranych ograniczeń i założeń. Potrzebne są do tego dane zarówno informacje, który zostały wymienione jako niezbędne do zaprojektowania trasy jak i dane, których możliwe jest wykorzystanie podczas tworzenia analizy. Biorąc pod uwagę transport odpadów komunalnych danymi do przeprowadzenia analizy jest sieć dróg oraz użytkownicy-punkty odbioru, które są opisane za pomocą odpowiednich atrybutów.

Trasa odbioru odpadów w Gdańsku

Na przykładzie dzielnicy w mieście Gdańsk stworzono trasę odbioru odpadów dla tego rejonu. Cała analiza została przeprowadzona w oprogramowaniu ArcGIS, w którym analizy sieciowe realizuje pakiet narzędzi Network Analyst. Podstawą stworzenia analizy sieciowej są oczywiście drogi, czyli warstwa liniowa. Po odpowiednim jej przygotowaniu tworzony jest zbiór danych sieciowych, na którym rozwiązywane są analizy sieciowe. W przypadku tej analizy do utworzenia modelu trasy, czyli stworzonej i zwizualizowanej trasy danego pojazdu, wykorzystana została sieć dróg z bazy Open Street Map [OSM]. Wykorzystanie analizy sieciowej poprzedzone jest niezbędnym

przygotowaniem danych, które jest często czynnością żmudną i czasochłonną. Podstawą przygotowania danych bez której niemożliwe jest rozwiązanie analizy jest zadbanie o spójność topologiczną sieci – poprawność połączeń w węzłach. Do tej czynności, w ArcGIS służy narzędzie Topology, wykrywa ono i wskazuje miejsca, w których występuje niespójność. Korzystając z danych OSM należy pamiętać, że baza ta jest tworzona przez wolontariuszy i dlatego, jeżeli posiadamy aktualne dane (np. aktualną ortofotomapę) warto przeprowadzić kontrolę tych danych. Dane OSM warstwy sieci dróg zawierają atrybuty opisujące elementy warstw do przeprowadzonej analizy zostały użyte następujące informacje: rodzaj drogi, dozwolona prędkość, kierunek drogi (informację czy odcinek drogi jest jednokierunkowy czy dwu) oraz typ infrastruktury danego odcinka drogi (most, tunel).

Przygotowanie danych do analizy

Wymienione atrybuty warstwy liniowej należy odpowiednio przygotować pod możliwość użycia ich w Network Analyst w oprogramowaniu ArcGIS. Zawarte informacje w własnościach elementów powinny być rzeczywistymi odpowiednikami informacji o danym elemencie wtedy wynik przeprowadzonej analizy odpowiada realnemu problemowi. Biorąc przykład odbioru odpadów komunalnych warstwy sieci dróg została przygotowana pod kątem samochodu ciężarowego, który transportuje odpady. Zatem ze względu na typ pojazdu zostały przyjęte założenia zawarte w tabeli nr 1, odpowiadają one możliwościom takiego samochodu jak i obszarze, po jakim się porusza, czyli terenie zabudowanym. Dodatkowo poprzez określenie zaniżonej prędkości pojazdu został rozwiązany problem częstego zatrzymywania się przy punktach odbioru. Takie częste postoje samochodu powodują że pojazd nie ma możliwości uzyskania dużych prędkości, zatem zostały wyszczególnione strefy wolnego ruchu, prędkość w nich została określona na 20 km/h. Strefy zostały stworzone przy założeniu, iż punkty odbioru powinny się znajdować w odległości nie mniejszej niż 150 m od siebie oraz że 3 punkty

to minimalna liczba punktów adresowych tworzących strefę. Przy podanych warunkach, za pomocą narzędzia agregowania punktów.

Klasyfikacja OSM	Odpowiednik polskich typów dróg	Ograniczenie prędkości	Ograniczenia prędkości dla założeń analizy
<i>Motorway</i>	Autostrada	140	50
<i>Trunk</i>	droga ekspresowa	120	50
<i>Primary</i>	droga krajowa	50	50
<i>Secondary</i>	droga wojewódzka	50	50
<i>Tertiary</i>	droga powiatowa	50	50
<i>Unclassified</i>	droga gminna	30	30
<i>Residential</i>	droga osiedlowa	30	30
<i>Living_street</i>	droga w strefie zamieszkania	20	20
<i>Service</i>	droga wewnętrzna	30	30
<i>Track</i>	droga gruntowa	30	30

Tabela nr 1. Podział dróg i prędkości na potrzeby analizy.

Istotną sprawą w rozwiązywaniu analiz sieciowych w ArcGIS jest odpowiednie oznaczenie pewnych własności. Jedną z takich informacji jest kierunkowość dróg, w OSM pole „*oneway*” przechowuje informację binarną 0- droga dwukierunkowa, 1-droga jednokierunkowa. Jednak na potrzeby Network Analyst wykorzystywane jest pole tekstowe z informacją FT-From To, TF-To From, B-Both, czyli kierunku ruchu określonego na podstawie linii, gdzie F to początek odcinka, a T to jego koniec. W przypadku tej analizy odpowiednie oznaczenie dotyczy również informacji o poziomach skrzyżowań, czyli za pomocą cyfr określony jest określony jest poziom początku i końca odcinka drogi. Dzięki takiej atrybutom określona zostaje kolejność dróg w pionie, poprzez którą można określić przebieg drogi na skrzyżowaniach wielopoziomowych czy wiaduktach. W OSM dany element drogi jest przypisany do odpowiadającemu mu typowi infrastruktury, Na podstawie tej informacji są pola F_elev i T_elev, czyli wspomniane już poziomy końca i początku odcinka drogi.



Rys.1. Przykład określania poziomów dróg – opracowanie własne na podstawie danych Street View.

Dodatkowym założeniem, które zostało wykorzystane podczas analizy jest hierarchia dróg. Transport odpadów nie jest standardowym typem transportu, przez jego właściwości oraz formę przejazdu, samochód ciężarowy odbierający odpady powinien unikać dróg o dużym natężeniu aby mieć możliwość swobodnego odbioru odpadów bez zakłócania ruchu na drodze. W analizie zastosowano hierarchię dróg przedstawioną w tabeli nr 2. Rodzaje poszczególnych dróg zostały wyszczególnione na podstawie ich odpowiedników z OSM (tabela nr 1).

Rodzaj dróg	Stopień hierarchii
droga wojewódzka, droga powiatowa, droga gminna, droga w strefie zamieszkania, droga osiedlowa	1
autostrada, droga ekspresowa, droga krajowa	2
droga wewnętrzna, droga gruntowa	3

Tabela nr 2. Hierarchia dróg wykorzystana w analizie.

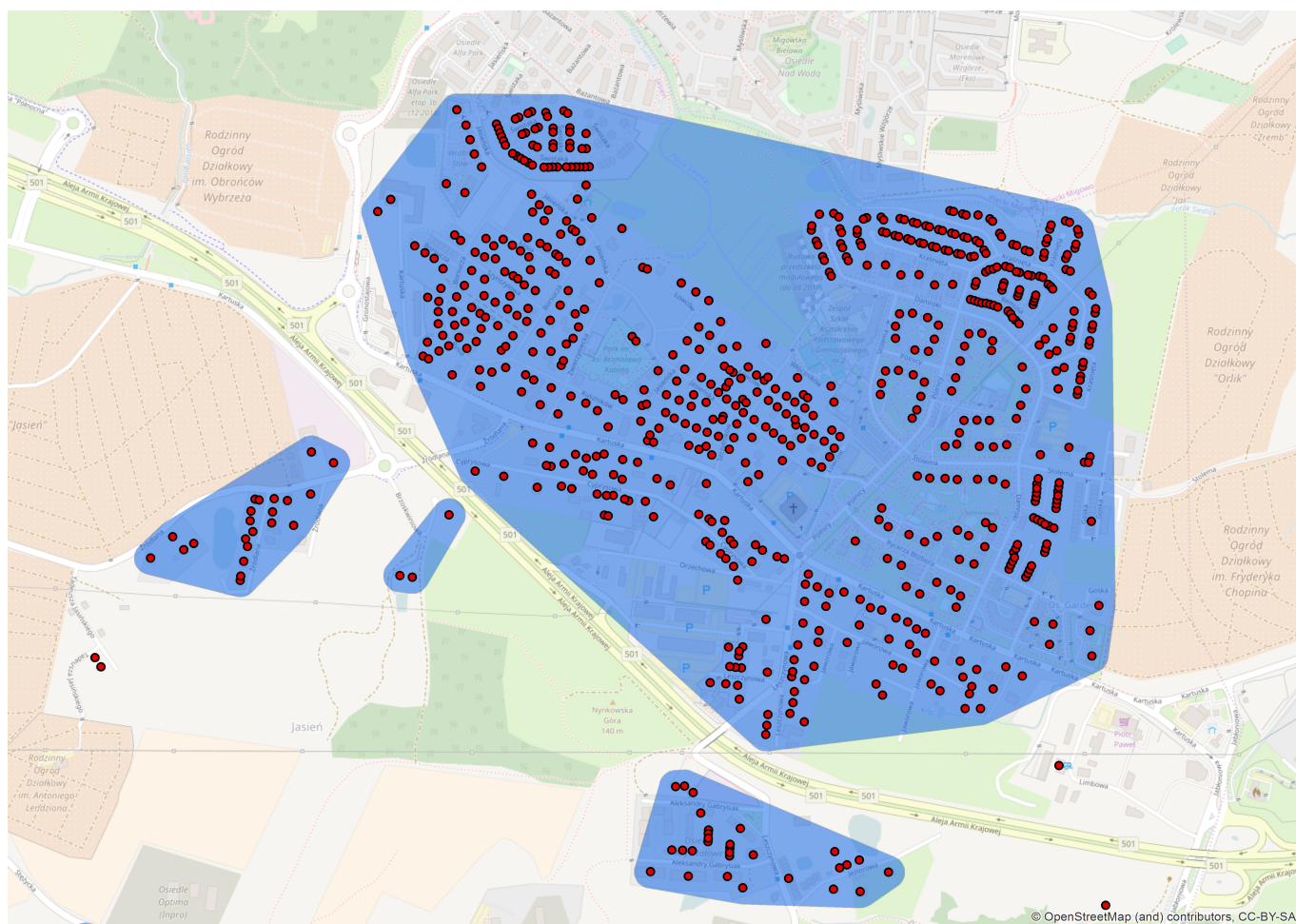
Po dostosowaniu warstwy dróg do potrzeb naszej analizy możemy stworzyć zestaw danych sieciowych. Tworzony jest on na potrzeby pakietu Network Analyst, dzięki niemu możemy wprowadzić założone ograniczenia i właściwości warstwy liniowej.

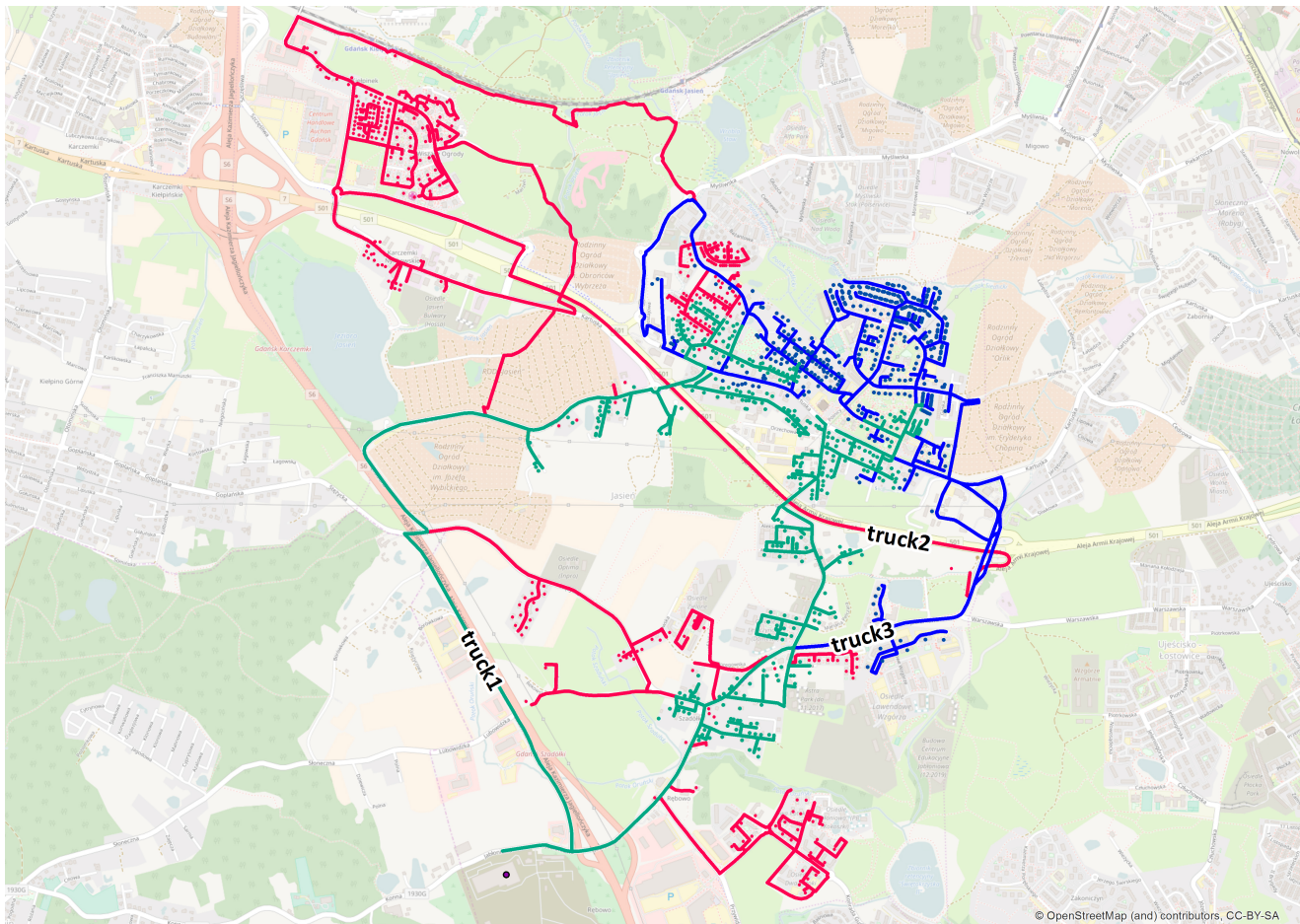
Dalsze czynności, jakie trzeba wykonać do przygotowania danych do analizy skupiają się na punktach adresowych – punktach odbioru śmieci. W tej analizie użytkownikami są mieszkańcy, zatem punkty odbioru zostały pozyskane z bazy BDOT10k. Wyodrębnione z niej zostały budynki mieszkalne, następnie wykorzystując dane statystyczne obliczono liczbę mieszkańców, na podstawie której określona została ilość wytwarzanych śmieci w danym punkcie odbioru. Wartość ta została dodana do punktu odbioru jako atrybut. W analizie śmieci zostały określone pojemnościowo ze względu na przedstawienie realnego przejazdu gdzie pojazd ma określoną ładowność.

Parametryzacja oraz modelowanie trasy

W ArcGIS można rozwiązać kilka rodzajów problemów logistycznych opartych na analizie sieciowej, jednym z nich jest Vehicle routing problem[VRP]. Z definicji problem ten jest stosowany do rozwiązywania analiz logistycznych w przypadkach, gdzie mamy do czynienia z odbiorem lub dostarczaniem obiektów, wykonywanym przez flotę pojazdów. Zatem jest odpowiednim rozwiązaniem dla problemu z gospodarką odpadami. W ustawieniach rozwiązania VRP należy określić cechy

poszczególnych pojazdów. Dzięki temu możemy stworzyć zarówno flotę takich samych pojazdów jak i zupełnie różnych. Informacje określające dany pojazd dotyczą głównie czasu pracy czy poniesionych kosztów. W przypadku tworzenia trasy dla odbioru odpadów zostały określone takie same założenia dla każdego z pojazdów, czyli 8 godzin pracy, z uwzględnionymi dwiema przerwami po 15 min, czas załadunku śmieci 1 min. powrót na składowisko po załadunku samochodu i rozładunek odpadów trwający 15 min., ładowność pojazdu 18 . Można dodatkowo określić założenia dotyczące kosztów zarówno pracownika jak i eksploatacji samochodu, dzięki czemu otrzymać można informację o uzyskanych kosztach na danej trasie.





Rys. 2 i 3. Trasy oraz oznaczone punkty obsługiwane przez pojazdy.

Wynikiem przeprowadzonej analizy dla rejonu dzielnicy w Gdańsku są utworzone trasy dla trzech pojazdów, które są w stanie obsłużyć cały teren i spełniają wyznaczone im założenia. Atrybuty utworzonych tras zawierają szczegółowy przebieg przejazdu, dzięki czemu można z łatwością kontrolować pracę danego pojazdu. Właściwości trasy dotyczą przede wszystkim czasu przejazdu, czasu dotarcia do wybranego punktu, aktualnego załadunku pojazdu w danym miejscu. Poprzez takie informacje kontrolując flotę pojazdu jest możliwość m.in. poinformowania użytkownika o czasie przybycia. Utworzone trasy optymalizują przejazd pojazdów odbierających śmieci, co powoduje również uniknięcie tzw. „wolnych przebiegów”, co redukuje produkcję zbędnych kosztów. Wszystkie te własności stworzonej trasy pojazdów pozwalają stwierdzić, że wykorzystanie analiz sieciowych w GIS do rozwiązywania problemów logistycznych pozwala ograniczyć generowanie kosztów oraz

zwiększa kontrolę pracy danej floty.