



## The use of GIS system and network applications and dedicated to the municipal waste management

Krzysztof GASKA<sup>1</sup>, Agnieszka GENEROWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów ul. Konarskiego 18 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> Politechnika Krakowska Wydział Inżynierii Środowiska Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska Katedra Technologii Środowiskowych ul. Warszawska 24 31-155 Kraków

### Abstract

GIS technology meets the growing demand of local government units to advanced solutions in the field of spatial analysis. It supports public administration in the implementation of the statutory tasks, such as land management, water and sewage, and waste management. Data spatial characteristics are a key element in building the infrastructure for spatial information at all levels of municipalities, districts and provinces. The possibilities and advantages of GIS technology allow the use of specialized decision support systems in local government units in the management of municipal waste. New duties imposed on municipalities in this area are a huge burden for them both in terms of organizational - administrative, as well as in the sphere of decision-making on development of technology.

The article presents general support capabilities of local government units in supporting just such a decision, with the use of GIS technology.

**Keywords:** waste management, environmental management, Geographic Information System (GIS), geoportal,

### Streszczenie

Wykorzystanie systemów GIS oraz aplikacji sieciowych i dedykowanych w zarządzaniu gospodarką odpadami

Technologia GIS zaspokaja rosnące zapotrzebowanie jednostek samorządu terytorialnego na zaawansowane rozwiązania w zakresie analiz przestrzennych. Wspomaga ona administrację publiczną w realizacji zadań statutowych, takich jak: gospodarka przestrzenna, gospodarka wodno-ściekowa, czy gospodarka odpadami. Dane o charakterze przestrzennym stanowią kluczowy element w budowaniu infrastruktury informacji przestrzennej na poziomach: gmin, powiatów i województw. Przedstawione możliwości i zalety technologii GIS pozwalają na wykorzystanie ich w specjalistycznych systemach wspomagających decyzje w jednostkach samorządu terytorialnego w zakresie gospodarowania odpadami komunalnymi. Nowe, narzucone na gminy obowiązki w tym zakresie stanowią ogromne obciążenie dla nich zarówno w sferze organizacyjno – administracyjnej, jak i w sferze podejmowania decyzji dotyczących rozbudowy technologii.

W artykule przedstawiono w sposób ogólny możliwości wspomagania jednostek samorządowych w zakresie wspomagania takich właśnie decyzji, z wykorzystaniem technologii GIS.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie gospodarką odpadami, zarządzanie środowiskiem, System Informacji Geograficznej (GIS), geoportal,

### 1. Wprowadzenie

Zastosowanie Systemów Wspomagania Decyzji opartych na specjalizowanych programach komputerowych, wykorzystujących geograficzne systemy informacyjne (GIS) pozwala na efektywne zarządzanie gospodarką odpadami w aspekcie oddziaływania na środowisko przyrodnicze. Kluczowe znaczenie ma tutaj wdrożenie systemu na poziomach centralnym, regionalnym i wojewódzkim, ze wszystkimi konsekwencjami związanymi ze standaryzacją oraz transferem danych.

Rozwój tych systemów determinowany jest zastosowaniem złożonych modeli zjawisk i procesów zachodzących w środowisku, zastosowaniem inteligentnych metod analizy danych, z wykorzystaniem sieci neuronowych, logiki rozmytej, programowania liniowego i innych, w celu klasyfikacji danych, predykcji i optymalizacji procesów. Szczególnie istotne są metody Data Mining w odniesieniu do danych przestrzennych. Ze względu na dużą skalę projektów istotne są również kwestie automatycznego pozyskiwania danych i ekstrakcji zawartej w nich informacji. W wielu krajach Systemy Wspomagania Decyzji oparte na technologii GIS są również stosowane jako systemy wspomagające proces wyboru miejsca pod lokalizację obiektów związanych z gospodarką odpadami, który wymaga uwzględnienia wielu czynników, określenia kryterium lokalizacyjnego oraz przetworzenia dużej ilości informacji przestrzennej. Kryteria i czynniki lokalizacyjne powinny być tak dobrane, żeby nowa lokalizacja była bezpieczna dla zdrowia ludzi i dla środowiska naturalnego.

W systemach GIS szereg analiz przestrzennych przeprowadzanych jest na podstawie modelu złożenia map (ang. overlay maps) tematycznych (mapy zasadnicze do celów projektowych, mapy topograficzne, mapy hydrogeologiczne, sozologiczne etc.). Specjalistyczne oprogramowanie (ArcGIS oraz rozszerzenia typu analitycznego i produkcyjnego), dzięki zastosowaniu technologii COM (Microsoft Component Object Model), pozwala na rozszerzenie predefiniowanych bibliotek komponentów obiektowych, oferujących szereg zaawansowanych metod, o elementy wynikające ze specyfiki analizowanych zagadnień, szczególnie w kontekście modelowania i analizy wariantów zintegrowanych systemów gospodarki odpadami.

Rosnące zapotrzebowanie jednostek samorządu terytorialnego (JST) na zaawansowane rozwiązania w zakresie analiz przestrzennych zaspakaja aktualnie technologia GIS, wspomagająca administrację publiczną w realizacji zadań statutowych, w tym zarządzanie gospodarką odpadami. Wymagania infrastruktury informacji przestrzennej (IIP) w krajach UE zostały zdefiniowane w treści dyrektywy INSPIRE. Dane o charakterze przestrzennym stanowią kluczowy element w budowaniu infrastruktury informacji przestrzennej na poziomach: gmin, powiatów i województw. Dlatego ważne jest, aby dane te były gromadzone w otwartych, udokumentowanych strukturach, przygotowanych do implementacji usług metadanych. GIS funkcjonuje obok innych systemów informatycznych integrując zasoby danych i umożliwiając ich prezentację przestrzenną. Pozwala zatem na wizualizację danych pochodzących niejednokrotnie z wielu wydziałów danej jednostki samorządu terytorialnego. Zasoby danych przestrzennych podlegają aktualizacji w trybie ciągłym lub okresowo informacjami pochodzącymi z baz dziedzinowych, projektowanych i aktualizowanych przez wyodrębnione komórki organizacyjne urzędów.

## 2. Cel artykułu

Zmiany prawno – organizacyjne wprowadzone w systemach gospodarki odpadami ustawą z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw, nałożyły na jednostki samorządu terytorialnego (gminy i województwa) nowe obowiązki, które stanowią dla nich kolejne obciążenie w zakresie nie tylko administracyjno – zarządczym, ale przede wszystkim w zakresie budowy i eksploatacji technologii. Gminy muszą uporać się z przetworzeniem strumienia odpadów komunalnych zmieszanych, osiągając jednocześnie narzucone wskaźniki odzysku i recyklingu frakcji użytkowej. Jedynym narzędziem ułatwiającym gminom takie działania jest tzw. „opłata śmieciowa”, obciążająca mieszkańców, zgodnie z zasadą zanieczyszczający płaci.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie możliwości technologii GIS, która może wspomóc jednostki samorządu terytorialnego, w zakresie prowadzenia administracji systemu, ale również w zakresie możliwości jego optymalizacji i budowy technologii w taki sposób, aby rozwiązanie systemu gospodarki odpadami w regionie, był on prawidłowo zbudowanym technicznie, ekonomicznie opłacalnym i społecznie akceptowanym.

## 3. Zasoby danych przestrzennych

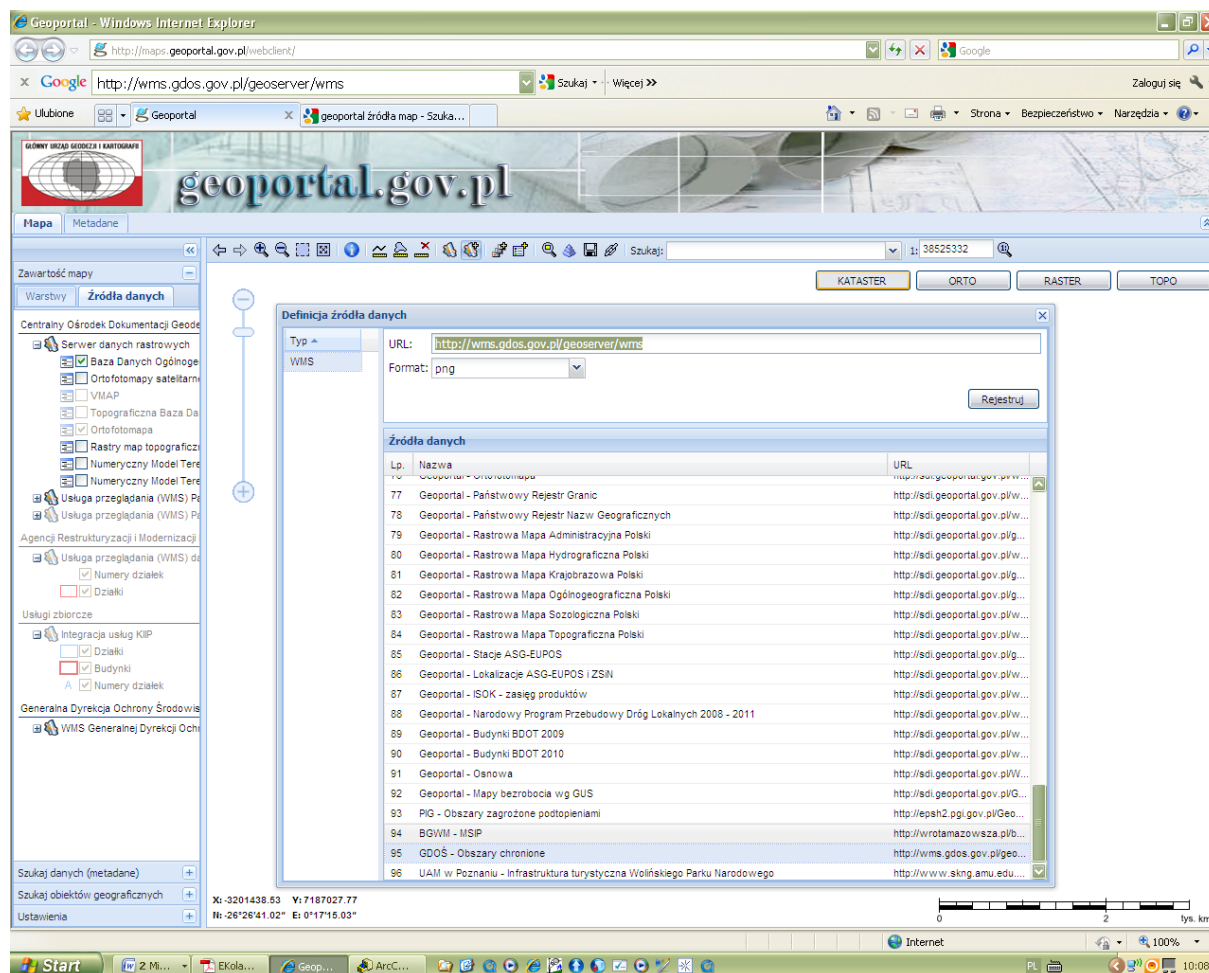
Rozwój technologii GIS oraz doświadczenia w publikacji danych przestrzennych przyczyniły się do dynamicznego rozpowszechnienia usług sieciowych WMS oraz WFS. Ich dostępność ma kluczowe znaczenie w pracy urzędów gmin, powiatów i województw, które na tej podstawie mogą prowadzić rejestry, wymagane przez odpowiednie ustawy i rozporządzenia.

Do rejestrów tych w zakresie gospodarki odpadami należą:

- rejestr działalności regulowanej w zakresie odbierania odpadów komunalnych od właścicieli nieruchomości (prowadzony przez wójta, burmistrza lub prezydenta miasta),

Rejestr prowadzi się w postaci bazy danych zapisanej na informatycznych nośnikach danych w rozumieniu art. 3 pkt 1 ustawy z dnia 17 lutego 2005 r. o informatyzacji działalności podmiotów realizujących zadania publiczne (Dz. U. Nr 64, poz. 565, z późn.zm.7)), która może stanowić część innych baz danych z zakresu ochrony środowiska, w tym gospodarki odpadami.

- rejestr ewidencji odpadów.



Rys. 3.1. Strona Geoportalu z widokiem listy źródeł danych

Zarządzanie systemami gospodarki odpadami na poszczególnych szczeblach administracji państwowej wymaga użycia wielu map tematycznych, pozwalających na prowadzenie szeregu zaawansowanych analiz. Kluczowym elementem pozwalającym uzyskać dostęp do zasobów kartograficznych jest krajowy Geoportal, którego głównym zadaniem jest publikacja podstawowych danych przestrzennych. Architektura Systemu GEOPORTAL.GOV.PL ma postać warstwową. Warstwą najwyższą jest warstwa dostępowa z przyjaznym interfejsem użytkownika, określona na powyższym diagramie jako „Usługi portalowe”. Elementy tej warstwy zapewniają dostęp do usług danych przestrzennych dla użytkowników końcowych systemu. W szczególności bazują one na usługach sieciowych udostępnianych w kolejnej warstwie. Z punktu widzenia realizacji technicznej na tym poziomie znajdują się [1-5]:

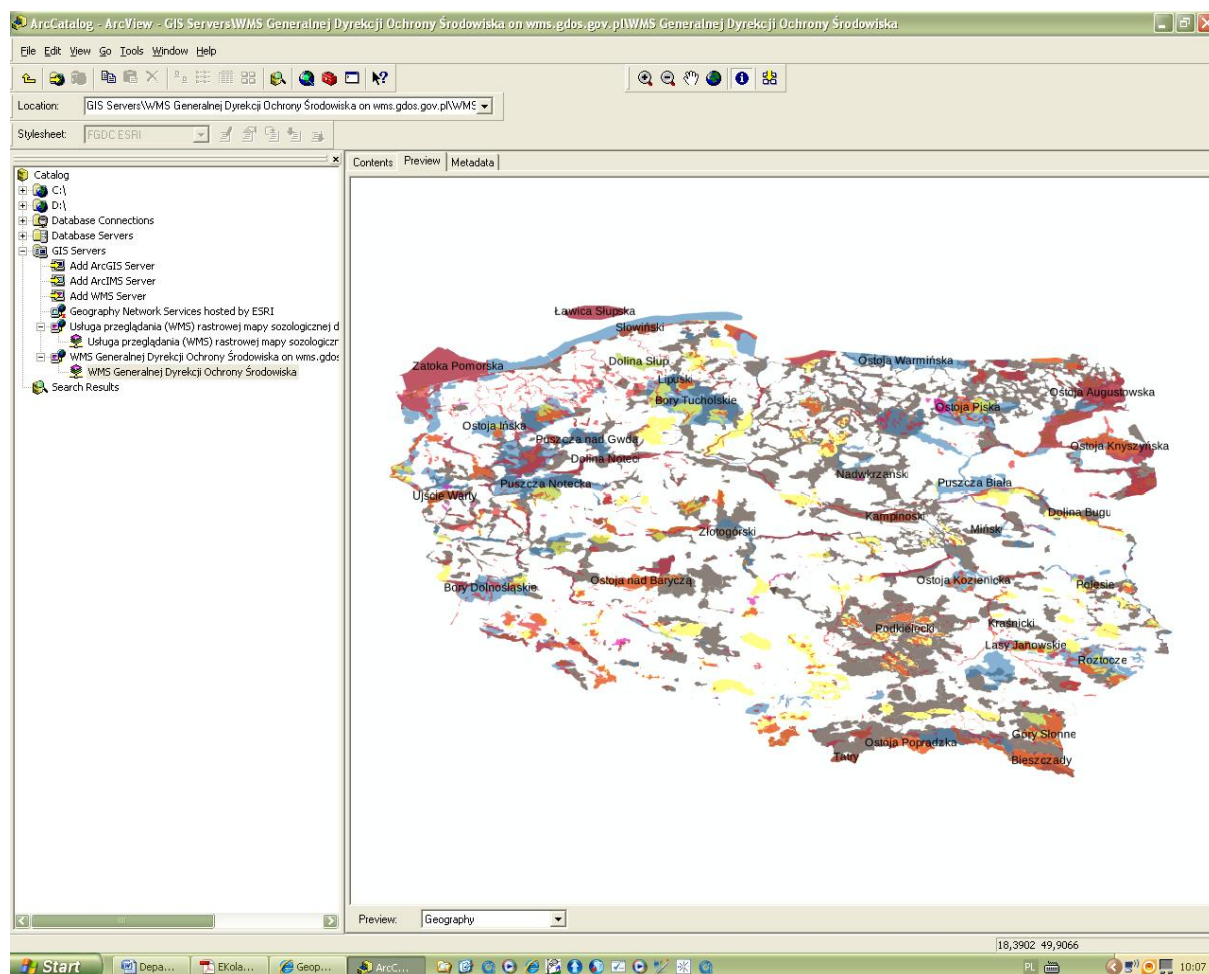
- klient usług katalogowych CSW (z interfejsem umożliwiającym wyszukiwanie, podgląd i pobranie metadanych)
- klient usług geoprzestrzennych WMS (konfigurowalna, interakcyjna przeglądarka map).

Warstwą niższą jest warstwa brokerska - warstwa pośrednicząca pomiędzy warstwą dostępową a usługami sieciowymi, organizująca dostęp do usług zdalnych, mogąca również oferować własne usługi sieciowe. W jej

skład wchodzi usługa CSW („Centralna usługa katalogowa”) z możliwością wyszukiwania rozproszonego oraz kontroler dostępu do usług WMS („Centralna usługa udostępniania zasobu”) z możliwością konfiguracji.

Kolejną warstwą to warstwa usług sieciowych. W tej warstwie udostępniane są usługi CSW i WMS. Najniższą warstwą jest warstwa danych („Metadane” oraz „Zasoby”), która zapewnia składowanie i utrzymywanie danych w systemie.

Prowadzenie informacji geoprzestrzennej skoncentrowane jest fizycznie w bazach danych, na różnych poziomach służby geodezyjnej, natomiast udostępnianie jest realizowane przez aplikacje i obsługiwane z wykorzystaniem serwerów katalogowych i serwisów Intranetowych lub Internetowych.

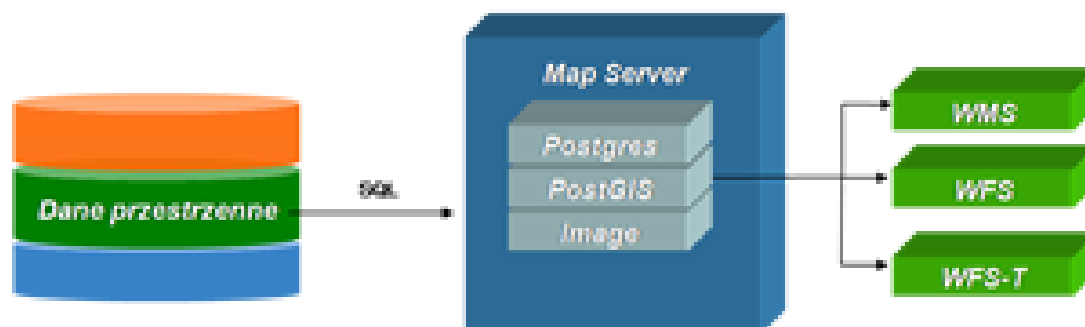


Rys. 3.2. Okno główne aplikacji ArcCatalog (ESRI) z widokiem usługi WMS, przeglądania map

WMS jest interfejsem pomiędzy programem użytkownika, a serwerem map, który umożliwia budowanie systemów GIS z wykorzystaniem protokołu HTTP. Serwer map, który używa specyfikacji WMS obsługuje trzy operatory: GetCapabilities, GetMap i GetFeatureInfo. GetCapabilities Pozwala serwerowi map opisać jego możliwości i zgromadzone w nim dane tak, że użytkownik wie, jaki zbiór danych jest udostępniany. W odpowiedzi na żądanie GetCapabilities serwer tworzy zbiór danych formatu XML, zawierający dane komunikacyjne. Program użytkownika odczytuje zbiór XML w celu wykorzystania potrzebnych informacji do utworzenia żądania GetMap. Serwer WMS musi być zdolny do przesłania zbioru XML protokołem http po otrzymaniu żądania GetCapabilities. GetMap pozwala użytkownikowi sprecyzować dane poszczególnych map składowych i ich rodzaje, przestrzenny system odniesienia, obszar geograficzny i inne parametry opisujące format żądanej mapy [6, 7].

Otrzymując żądanie GetMap, serwer WMS przesyła do programu użytkownika mapę najczęściej w formacie JPEG, GIF lub GML. GetFeatureInfo następuje po żądaniu GetMap, przez co program użytkownika jest w stanie

otrzymać dodatkowe informacje charakteryzujące specyficzne punkty na danej mapie. Podczas tej operacji, przesyłane są dodatkowe parametry do danego serwera map i ilość obiektów, o których to serwer WMS powinien wysłać informacje. Odpowiedzią serwera WMS może być tekst, zbiór formatu XML/GML, HTML lub formatu MS Word zawierający charakterystyczne informacje o wybranym obiekcie lub obiektach. Wynikiem może być mapa przedstawiona w przeglądarce, gdzie użytkownik może kliknąć na określony punkt w celu otrzymania dalszych informacji.



Rys. 3.3. Schemat architektury otwartych systemów WMS.

Użycie standardowego interfejsu WMS daje wielkie korzyści:

- Umożliwia natychmiastowe nakładanie map pochodzących z rozproszonych w Internecie źródeł, nie zważając na fizyczną lokalizację serwera, skalę mapy, system współrzędnych, format zapisu cyfrowego czy rodzaj dystrybutora.
- Umożliwia utworzenie rastrowego widoku danych, który dostarcza użyteczne informacje podczas kontrolowania dostępu do szczegółowych danych GIS.
- Umożliwia organizacjom stworzenie sieci danych WMS, które pozwolą użytkownikom połączyć dane GIS pochodzące z różnych źródeł kierując się indywidualnymi potrzebami użytkownika.
- Umożliwia poszczególnym dostawcom WMS na lepsze skupienie się na ich własnych informacjach i aplikacjach, w przeciwieństwie do samodzielnych przeróbek zbiorów danych.

#### 4. Aktualne regulacje prawne w zakresie gospodarki odpadami

W dniu 15 lipca 2011 roku, Prezydent podpisał ustawę z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw. Ustawa wprowadza zmiany w obowiązującym systemie gospodarowania odpadami komunalnymi, polegające m.in. na [8, 9]:

- wzmocnieniu systemu gospodarowania,
- prowadzeniu selektywnego zbioru odpadów,
- zmniejszeniu ilości odpadów, w tym ulegających biodegradacji,
- zwiększeniu liczby nowoczesnych instalacji do odzysku służących m.in. recyklingowi, czy odnawianiu.

Niewątpliwie ważnymi elementami nowelizacji są regulacje dotyczące eliminacji nielegalnych składowisk odpadów, monitoringu z postępu prac mających na celu eliminację odpadów komunalnych, czy zmniejszenia potencjalnych zagrożeń środowiska.

Wzmocnione zostały funkcje kontrolne gmin, które w sposób kompleksowy będą mogły monitorować działania podejmowane zarówno przez właścicieli nieruchomości, jak i przez przedsiębiorców odbierających odpady komunalne od właścicieli nieruchomości.

Nowelizacja wprowadza zmiany w art. 3 ust. 2, zobowiązując gminy do zapewnienia budowy, utrzymania i eksploatacji własnych lub wspólnych z innymi gminami regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych.

W celu przejrzystości i łatwego dostępu mieszkańców do informacji wprowadza się dla gmin obowiązek udostępniania mieszkańcom na stronie internetowej informacji o:

- podmiotach odbierających odpady komunalne,
- osiągniętych poziomach odzysku i recyklingu oraz redukcji masy odpadów ulegających biodegradacji kierowanych do składowania,
- punktach selektywnego zbierania odpadów.

Dodatkowo w związku z przejęciem przez gminy obowiązków właścicieli nieruchomości, będą one dokonywać corocznej analizy stanu gospodarowania odpadami komunalnymi, ustanawiać selektywne zbieranie odpadów komunalnych, tworzyć punkty selektywnego zbierania odpadów komunalnych w sposób zapewniający łatwy dostęp dla wszystkich mieszkańców gminy.

Celem zmian ustawy było:

- uszczelnienie obecnie funkcjonującego systemu gospodarki odpadami komunalnymi;
- monitorowanie sposobu postępowania z odpadami komunalnymi przez właścicieli nieruchomości, przedsiębiorców oraz gminy;
- upowszechnienie prowadzenia selektywnego zbierania odpadów komunalnych „u źródła”;
- zmniejszenie ilości składowanych odpadów komunalnych;
- zapewnienie powstania odpowiednich instalacji do odzysku lub unieszkodliwiania odpadów komunalnych.

Istotnym elementem zmiany ustawy są Plany Gospodarki Odpadami, które w stosunku do poprzednich przepisów będą tworzone na szczeblu krajowym i wojewódzkim. Wraz z uchwaleniem wojewódzkiego planu gospodarki odpadami sejmik województwa podejmie uchwałę w sprawie jego wykonania, która będzie aktem prawa miejscowego i określi: regiony gospodarki odpadami komunalnymi, regionalne instalacje do przetwarzania odpadów komunalnych oraz instalacje zastępcze, regionalne instalacje do przetwarzania odpadów komunalnych niespełniające wymagań, których modernizacja nie jest możliwa lub jest nieopłacalna.

Plany gospodarki odpadami powinny być zgodne z polityką ekologiczną państwa. Wojewódzki plan gospodarki odpadami powinien być zgodny z krajowym planem gospodarki odpadami i służyć realizacji zawartych w nim celów. Plany gospodarki odpadami dotyczą odpadów wytworzonych na obszarze, dla którego jest sporządzany plan, oraz przywożonych na ten obszar, w tym odpadów komunalnych, odpadów ulegających biodegradacji, odpadów opakowaniowych i odpadów niebezpiecznych.

## **5. Zadania samorządu terytorialnego w zakresie gospodarowania odpadami**

- Tworzenie warunków do wykonywania prac związanych z utrzymaniem czystości i porządku na terenie gminy.
- Zapewnienie budowy, utrzymanie i eksploatację własnych lub wspólnych z innymi gminami regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych.
- Nadzorowanie gospodarowania odpadami komunalnymi, w tym realizację zadań powierzonych podmiotom odbierającym odpady komunalne od właścicieli nieruchomości.
- Ustanowienie selektywnego zbierania odpadów komunalnych obejmujących, co najmniej: papier, metal, szkło, tworzywa sztuczne, opakowania wielomateriałowe oraz odpady ulegające biodegradacji.
- Tworzenie punktów selektywnego zbierania odpadów (PSZO).
- Zapewnienie osiągnięcia odpowiednich poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia, odzysku innymi metodami oraz ograniczenie masy odpadów komunalnych przekazywanych do składowania.
- Prowadzenie działań informacyjnych i edukacyjnych w zakresie prawidłowego gospodarowania odpadami komunalnymi.

- Udostępnianie na stronie internetowej urzędu wszelkich informacji dotyczących systemu gospodarki odpadami na terenie gminy.
- Dokonywanie corocznej analizy stanu gospodarki odpadami, w celu weryfikacji możliwości technicznych i organizacyjnych gminy.

## 6. Zastosowania systemów GIS w gospodarce odpadami

Zarządzanie danymi, wynikającymi z prowadzenia:

- centralnej bazy danych dotyczącej wytwarzania i gospodarowania odpadami (art. 37 ust. 10 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz. U. z 2007 r. Nr 39, poz. 251) [8 - 10].
- bazy danych dotyczącej gospodarki opakowaniami i odpadami opakowaniowymi (art. 20 ustawy z dnia 11 maja 2001 r. o opakowaniach i odpadach opakowaniowych, Dz. U. Nr 63, poz. 638, ze zm.)
- sprawozdawczości marszałków województw o wielkościach wprowadzonych na rynek opakowań i produktów, osiągniętych poziomach odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i poużytkowych oraz wpływach z opłat produktowych przekazywane Ministrowi Środowiska na podst. art. 24 ustawy o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej.
- sprawozdawczości wojewódzkich funduszy ochrony środowiska i gospodarki wodnej o rodzaju i ilości odpadów opakowaniowych zebranych przez gminy na terenie danego województwa oraz przekazanych do odzysku i recyklingu, gromadzone na podstawie art. 35 ustawy o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej.

Obowiązek prowadzenia ilościowej i jakościowej ewidencji odpadów wynika bezpośrednio z zapisów ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (tekst jednolity: Dz. U. z 2007 r. Nr 39, poz. 251, z późn. zm.) - dla istnienia tego obowiązku nie jest potrzebna żadna decyzja administracyjna. Ewidencja dotyczy każdego posiadacza odpadów. Posiadaczem odpadów jest każdy, kto faktycznie włada odpadami, może nim być:

- wytwórca;
- osoba fizyczna;
- osoba prawna;
- jednostka organizacyjna.

Posiadaczem odpadów nie jest ten kto prowadzi działalność tylko w zakresie transportu odpadów.

Ewidencja w zakresie gospodarczego korzystania ze środowiska w gospodarce odpadami obejmuje działalność związaną ze składowaniem odpadów.

Obowiązki ewidencyjne dotyczą przedsiębiorców:

- wytwarzających odpady;
- zbierających odpady;
- transportujących odpady;
- odzyskujących odpady;
- unieszkodliwiających w tym składujących odpady;
- zagospodarowujących komunalne osady ściekowe.

Ewidencja w zakresie gospodarki odpadami to również:

- ewidencja dotycząca opłaty produktowej;
- ewidencja dotycząca produkcji, importu i eksportu opakowań.

Z obowiązku prowadzenia ewidencji wyłączeni są:

- wytwórcy odpadów komunalnych;
- osoby fizyczne i jednostki organizacyjne niebędące przedsiębiorcami, które wykorzystują odpady na własne potrzeby.

Celem ewidencji jest zapewnienie kontroli nad wytwarzanymi odpadami, ich obrotem i przekształcaniem w trakcie usuwania do miejsc wykorzystywania lub unieszkodliwiania oraz prawidłowości uiszczonych opłat (Opłaty za składowanie odpadów), służy również wymierzaniu kar pieniężnych (Opłaty podwyższone za składowanie odpadów) za składowanie odpadów w miejscu na ten cel nie przeznaczonym lub niezgodnie z wymaganiami.

Ewidencja musi być prowadzona zgodnie z obowiązującym katalogiem odpadów i listą odpadów niebezpiecznych, opublikowanymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. z 2001 r. Nr 112, poz. 1206).

Ewidencję prowadzi się z wykorzystaniem z góry ustalonych wzorów dokumentów:

- karty przekazania odpadu (Karta ewidencji i przekazania odpadu);
- karty ewidencji odpadu (Karta ewidencji i przekazania odpadu), prowadzonej dla każdego rodzaju odpadu odrębnie.

Dla każdego województwa tworzona jest baza danych dotycząca gospodarki odpadami. Między innymi w tym celu do końca marca każdego roku posiadacz odpadów musi przedłożyć Marszałkowi Województwa informacje o ilości i sposobie zagospodarowania odpadami w minionym roku. W tym celu każdy przedsiębiorca, którego dotyczy obowiązek sprawozdawczy sporządza na podstawie prowadzonej ewidencji zbiorcze zestawienie danych o rodzajach i ilościach odpadów na formularzu, którego wzór określa rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 maja 2007 r. w sprawie zakresu informacji oraz wzorów formularzy służących do sporządzania i przekazywania zbiorczych zestawień danych (Dz. U. z 2007 r. Nr 101, poz. 686). Rozporządzenie określa osobno wzór formularza oraz zakres informacji niezbędnych do [8-9]:

- sporządzania i przekazywania zbiorczego zestawienia danych o rodzajach i ilości odpadów, o sposobach gospodarowania nimi oraz o instalacjach i urządzeniach służących do odzysku i unieszkodliwiania odpadów;
- do sporządzania i przekazywania zbiorczego zestawienia danych o komunalnych osadach ściekowych.

## **7. Zastosowanie systemów GIS w planowaniu gospodarki odpadami na poziomie województwa oraz gminy**

Planowanie gospodarki odpadami jest bardzo złożonym procesem, wymagającym zaangażowania zespołów ekspertów z różnych dziedzin nauki oraz wykorzystania specjalistycznego oprogramowania typu GIS. Plany gospodarki odpadami, w myśl znowelizowanej ustawy „śmieciowej” sporządzane są na szczeblu kraju, województw oraz gmin i stąd wykorzystanie technologii GIS sprowadza się do dwóch kluczowych poziomów [4]:

1. Poziom województwa (na bazie nowelizacji ustawy Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 628 z późn. zm.)
  - Planowanie i wyznaczanie regionów gospodarki odpadami w wojewódzkich planach gospodarki odpadami; w celu znalezienia optymalnych dróg transportu oraz możliwości odbioru odpadów od wszystkich mieszkańców regionu
  - Wyznaczanie najkorzystniejszego rozwiązania regionalnej gospodarki odpadami uwzględniając warunki terenowe, geologiczne, sozologiczne, hydrogeologiczne itp. (uwzględniając możliwości programu GIS) oraz bilans jakościowy i ilościowy odpadów w regionie
  - Wyznaczanie możliwości położenia instalacji regionalnych do przetwarzania odpadów komunalnych, w celu przetworzenia zgodnie z zasadą bliskości i samowystarczalności odpadów zmieszanych
  - Wyznaczanie instalacji zastępczych
  - Wyznaczanie instalacji ponadregionalnych do odzysku i recyklingu odpadów z selektywnej zbiórki (określenie koniecznej ilości instalacji i ich lokalizacji w podobny sposób jak instalacji regionalnych)



## 2. Poziom gminny

- Inwentaryzacja nieruchomości, które muszą być objęte nowelizacją ustawy o utrzymaniu czystości i porządku (Dz. U. 2011 Nr 152, poz. 897) wraz z możliwością zbilansowania strumienia odpadów zmieszanych i segregowanych oraz mieszkańców zameldowanych (lub niezameldowanych) i przedsiębiorców produkujących odpady
- Inwentaryzacja na bazie map GIS terenów zielonych, wraz z obliczeniem ilości odpadów zielonych, biodegradowalnych
- Wyznaczanie kosztów po wprowadzeniu danych ekonomicznych (nakładów i kosztów eksploatacji)
- Wyznaczanie punktów selektywnego gromadzenia
- Dodatkowo rejestr działalności regulowanej

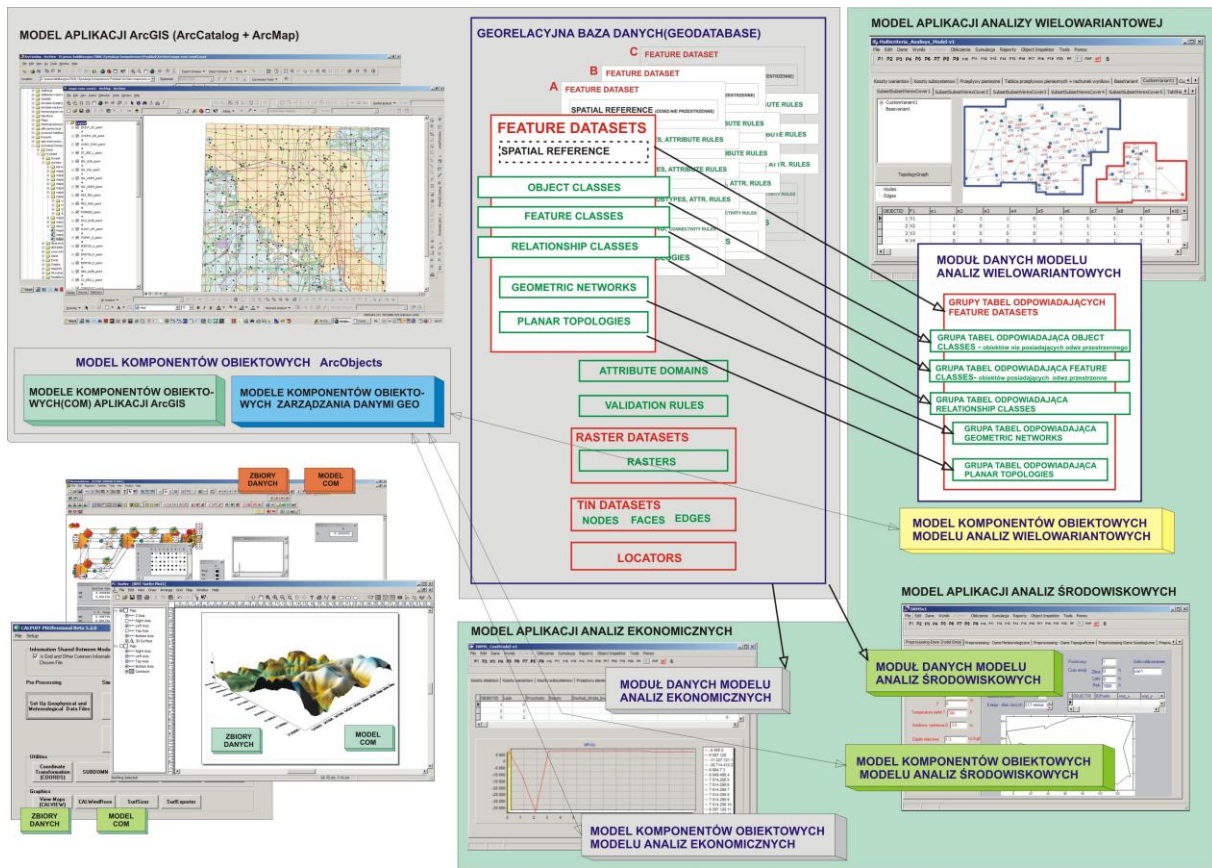
## 8. Zaawansowane technologie planowania i zarządzania systemami gospodarki odpadami – wykorzystanie aplikacji dedykowanych typu DESKTOP

Wykorzystanie aplikacji dedykowanych typu desktop w oparciu o predefiniowaną bibliotekę komponentów obiektowych (COM) ArcObjects wynika z konieczności prowadzenia zaawansowanych prac związanych z planowaniem i zarządzaniem zintegrowanych systemów gospodarki odpadami. Kluczowym elementem tego typu aplikacji są georelacyjne bazy danych w technologii GIS.

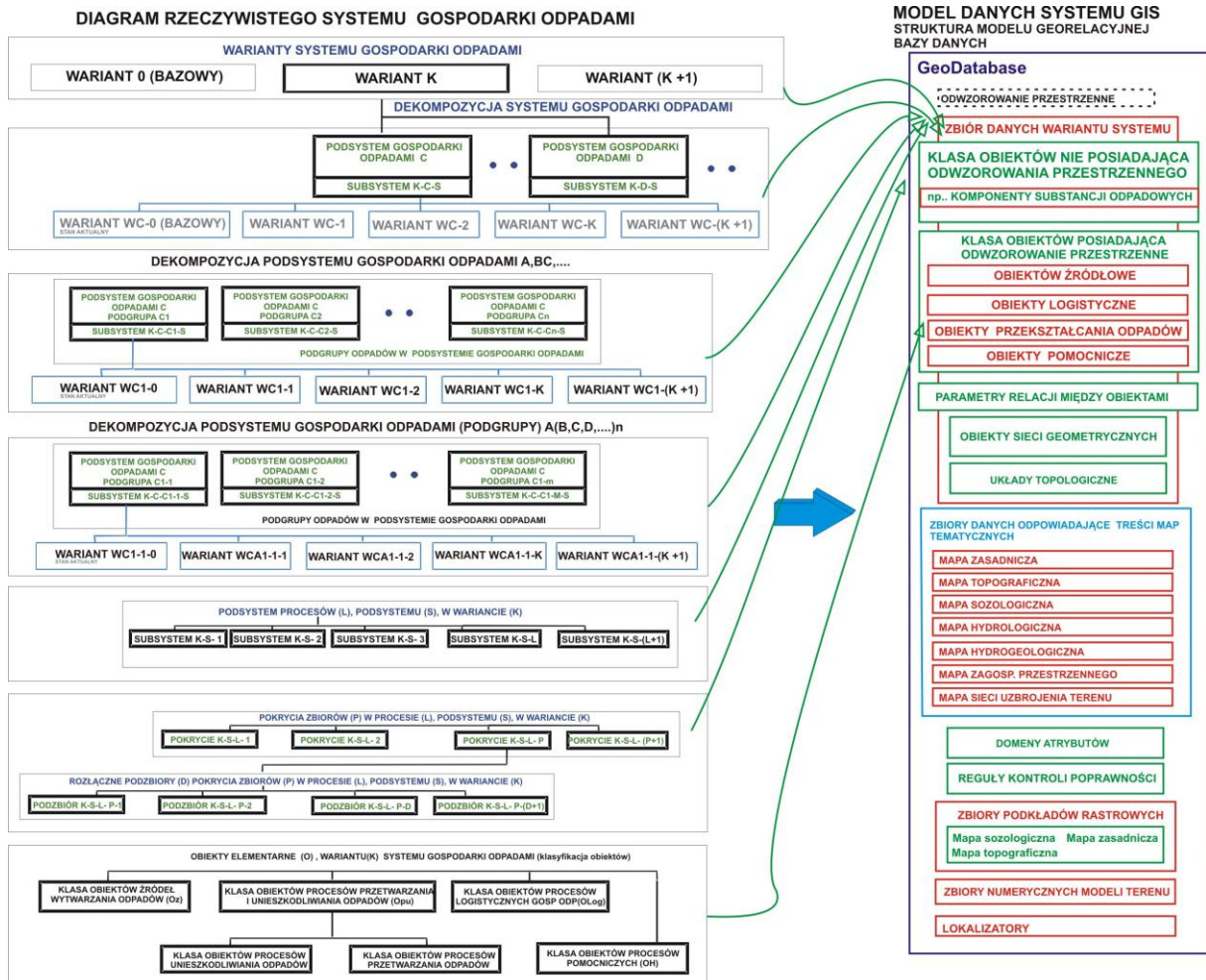
Kluczowym elementem jest zastosowanie georelacyjnego modelu danych (georelacyjna baza danych) do przechowywania atrybutów poszczególnych komponentów systemu. Zastosowanie otwartego łącza w standardzie ODBC (alias bazy danych) pozwala na współdzielenie zasobów bazy danych przez różne środowiska informatyczne i odwzorowanie ich w postaci modułów danych, zapewniających dostęp do danych z poziomu kodu programowego opracowanej aplikacji (rys. 8.1 oraz 8.2) [11 - 14].

Definicja georelacyjnej bazy danych w standardzie ArcGIS obejmuje szereg kategorii komponentów wizualnych (odpowiadających treści warstw tematycznych map) i niewizualnych, zapisanych w skorelowanych tabelach, gdzie elementom przestrzennym zadedykowano specjalny format danych z opisem właściwości geometrycznych i parametrami odwzorowania przestrzennego. Logiczna struktura georelacyjnej bazy danych zawiera podstawowe tabele z zapisem atrybutów graficznych elementów przestrzennych (Feature class) uporządkowanych i zorganizowanych w zespoły danych (Feature Dataset), tabele z zapisem atrybutów zachodzących relacji między obiektami poszczególnych klas (Relationship class) oraz tabele z atrybutami elementów nieposiadających odwzorowania przestrzennego (Object class) [6, 11, 13 - 16].

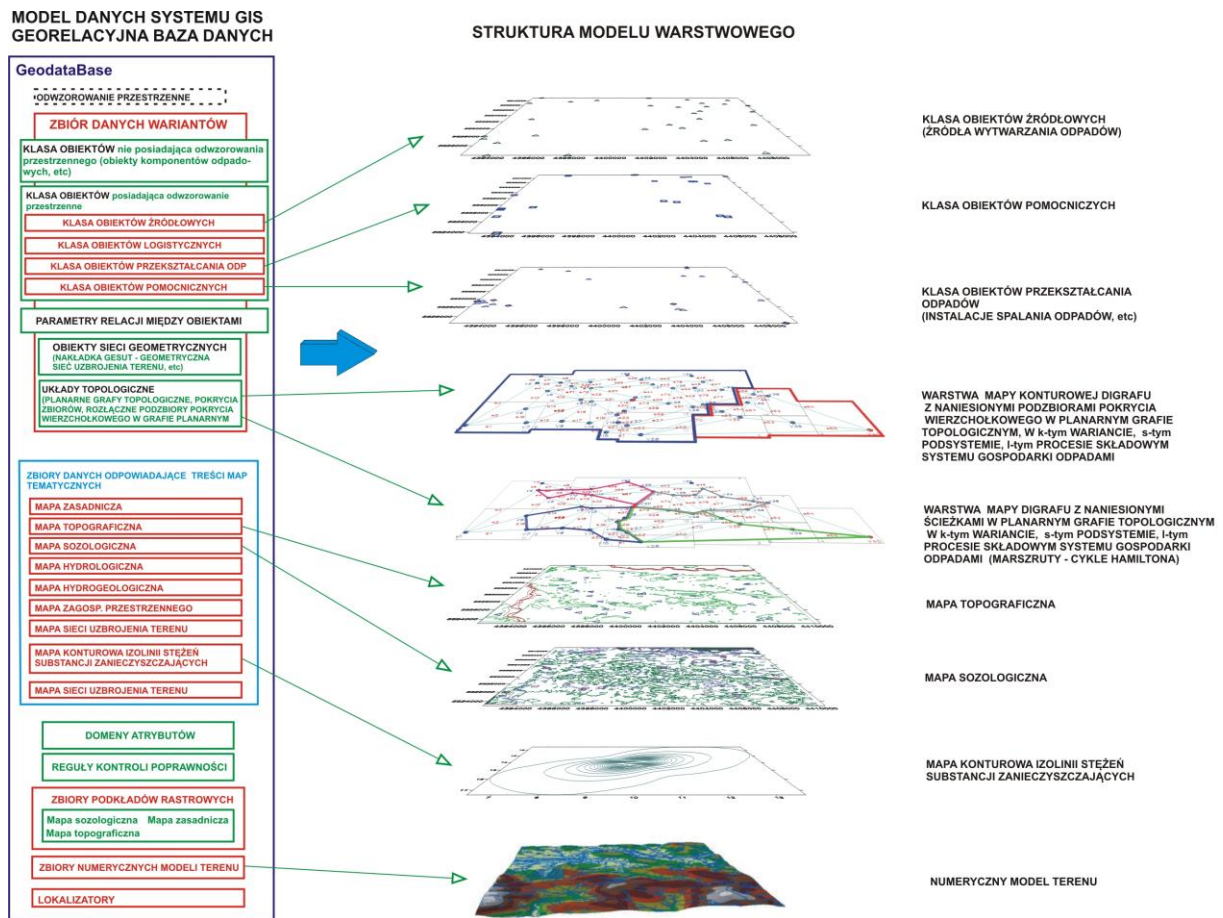
Fundamentalnym elementem systemów GIS jest obiektowo-relacyjny model danych (rys. 8.4) opracowany przy zastosowaniu biblioteki komponentów obiektowych w standardzie technologii COM, wprowadzający definicję kategorii komponentów wizualnych (odpowiadających treści warstw tematycznych map – rys. 8.3) i niewizualnych, zapisanych w skorelowanych tabelach, gdzie elementom przestrzennym zadedykowano format danych z opisem właściwości geometrycznych i parametrami odwzorowania przestrzennego. Rys. 8.3 przedstawia logiczną strukturę georelacyjnej bazy danych, w której wyróżniono podstawowe tabele z zapisem atrybutów graficznych elementów przestrzennych (Feature class), uporządkowanych i zorganizowanych w zespoły danych (Feature Dataset), tabele z zapisem atrybutów zachodzących relacji między obiektami poszczególnych klas (Relationship class) oraz tabele z atrybutami elementów nieposiadających odwzorowania przestrzennego (Object Class).



Rys. 8.1. Schemat modelu integracji systemów informatycznych [opracowanie własne, 13 - 14]

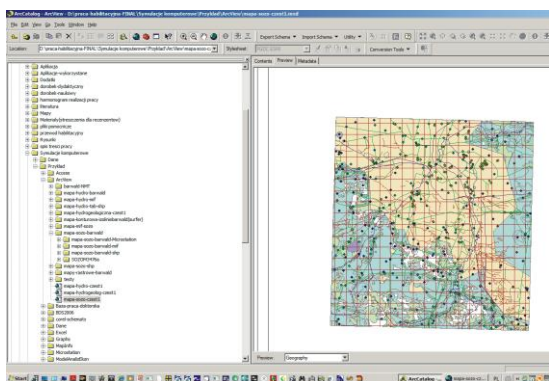


Rys. 8.2. Schemat dekompozycji systemu gospodarki odpadami z elementami odwzorowania do georelacyjnego modelu danych [opracowanie własne]

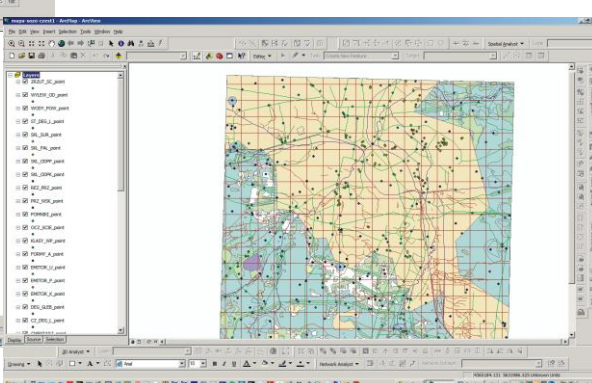


Rys. 8.3. Schemat odwzorowania modelu georelacyjnej bazy danych w postaci warstw tematycznych [opracowanie własne]

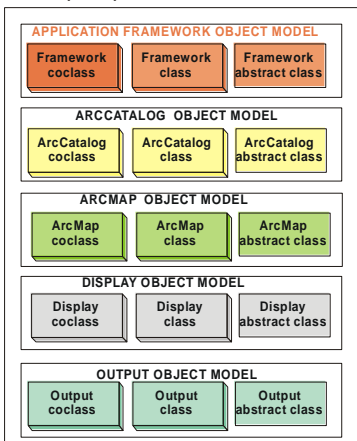
MODEL APLIKACJI ArcGIS (ArcCatalog)



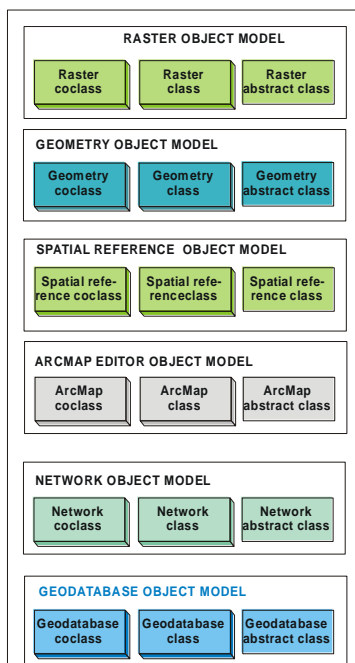
MODEL APLIKACJI ArcGIS (ArcMap)



MODELE KOMPONENTÓW OBIEKTOWYCH (COM) APLIKACJI ArcGIS



MODELE KOMPONENTÓW OBIEKTOWYCH ZARZĄDZANIA DANYMI GEOGR



STRUKTURA MODELU GEORELACYJNEJ BAZY DANYCH

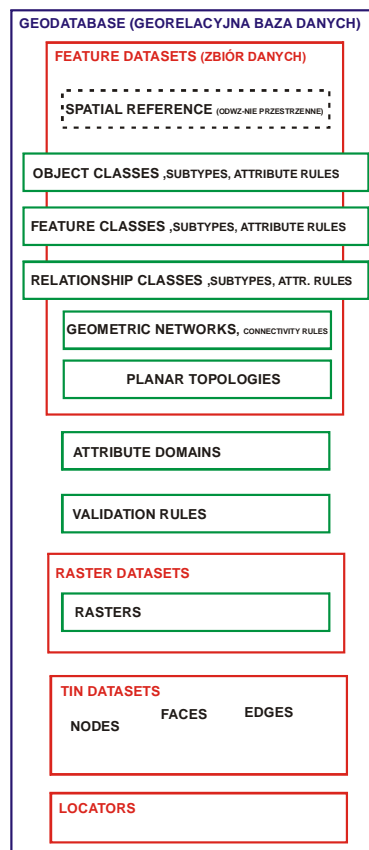
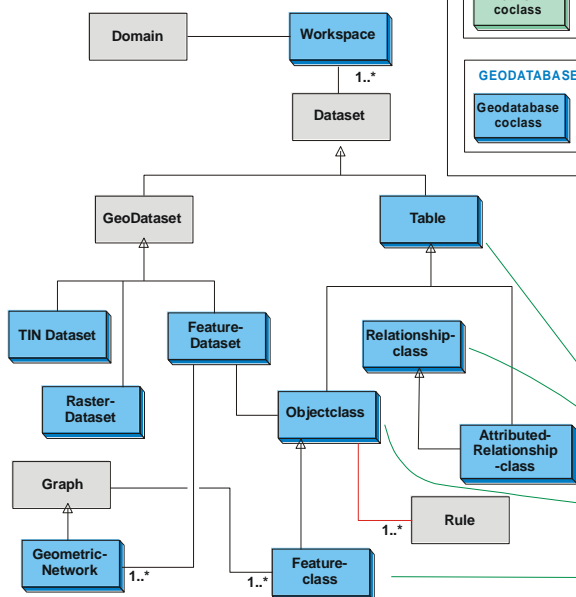
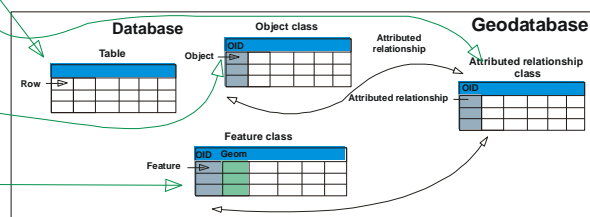


DIAGRAM KLAS KOMPONENTÓW OBIEKTOWYCH MODELU GEORELACYJNEJ BAZY DANYCH



INTERPRETACJA STRUKTURY GEORELACYJNEJ BAZY DANYCH



Rys. 8.4. Struktura modelu obiektowego środowiska aplikacji ArcGIS [opracowanie własne]

Georelacyjna baza danych (rys. 8.3) może przechowywać zbiory danych zapisane w różnych formatach, przy czym poszczególne zespoły danych zgrupowane są w odpowiednich kategoriach [4, 14]:

Feature clas – obiekty przestrzenne (posiadające parametry odwzorowania przestrzennego oraz atrybuty geometryczne, symbolizujące klasy obiektów numerycznych map tematycznych). W modelu obiektowo relacyjnym systemu gospodarki odpadami, obiektami tymi są klasy obiektów źródeł wytwarzania odpadów różnych grup, klasy obiektów logistycznych, klasy obiektów przekształcania odpadów, natomiast w kontekście definicji map numerycznych oznaczają elementy treści warstw tematycznych (np. warstwy z naniesionymi konturami obszarów chronionych).

- Feature dataset – zbiór danych zawierający klasy obiektów przestrzennych, parametry odwzorowania przestrzennego, definicje planarnych grafów topologicznych (Planar Topologies), zapis relacji topologicznych między poszczególnymi obiektami (Relationship classes) oraz klasy obiektów (Feature class) tworzących struktury sieci geometrycznych (Geometric networks) (np. sieci dróg krajowych, sieci infrastruktury technicznej etc.).

- Object class – klasa obiektów nieposiadających odwzorowania przestrzennego (np. modele komponentów substancji odpadowych).

- Raster Datasets – zbiory podkładów rastrowych map tematycznych.

- TIN Datasets – zbiory numerycznych modeli terenu, opartych na nieregularnej sieci trójkątów.

Definicja struktury georelacyjnej bazy danych (geodatabase) oparta jest na komponentach obiektowych COM kategorii Geodatabase Object Model (biblioteki ArcObjects środowiska ArcGIS) [16].

Listę komponentów składowych przechowywanych w georelacyjnej bazie danych uzupełniają:

- tabele z zapisem parametrów odwzorowania przestrzennego w wybranym układzie współrzędnych (predefiniowanych w systemie),
- obiekty przestrzenne tworzące tzw. sieci geometryczne (Geometric Networks),
- obiekty topologiczne, reprezentowane przez planarne grafy topologiczne (Planar Topologies),
- tabele z zapisem domen atrybutów obiektów (Attribute Domains),
- tabele z zapisem reguł kontroli poprawności danych (Validation Rules),
- zbiory podkładów rastrowych (mapy rastrowe) (Raster Datasets),
- zbiory numerycznych modeli terenu, opartych na nieregularnej siatce trójkątów (TIN Datasets).

Biblioteka komponentów obiektowych (ArcObjects) środowiska GIS udostępnia definicje klas, które mogą zostać wykorzystane w autonomicznych aplikacjach lub mogą stanowić klasy bazowe dla typów potomnych, rozszerzających standardowe środowisko [4, 11, 18].

Ogólna klasyfikacja komponentów obejmuje:

- modele komponentów obiektowych aplikacji ArcGIS (modele obiektów realizujących operacje zarządzania dokumentami, operacjami wejścia-wyjścia oraz elementami graficznego interfejsu użytkownika) (Application Framework Object Model, ArcCatalog Object Model, ArcMap Object Model, Display Object Model, Output Object Model),
- modele komponentów obiektowych zarządzania danymi przestrzennymi (modele obiektów zarządzania fizycznymi zbiorami danych, operowania na strukturach topologicznych etc.) (Raster Object Model, Geometry Object Model, Spatial Reference Object Model, ArcMap Editor Object Model, Network Object Model, Geodatabase Object Model).

## 9. Przykłady zastosowań aplikacji dedykowanych

Aplikacje dedykowane typu desktop, oparte na technologii GIS, wykorzystywane mogą być w szeregu zaawansowanych analizach w zarządzaniu gospodarką odpadami, jako rozszerzenia istniejących narzędzi bądź jako niezależne aplikacje opracowane przy wykorzystaniu np. zintegrowanego pakietu Microsoft Visual Studio

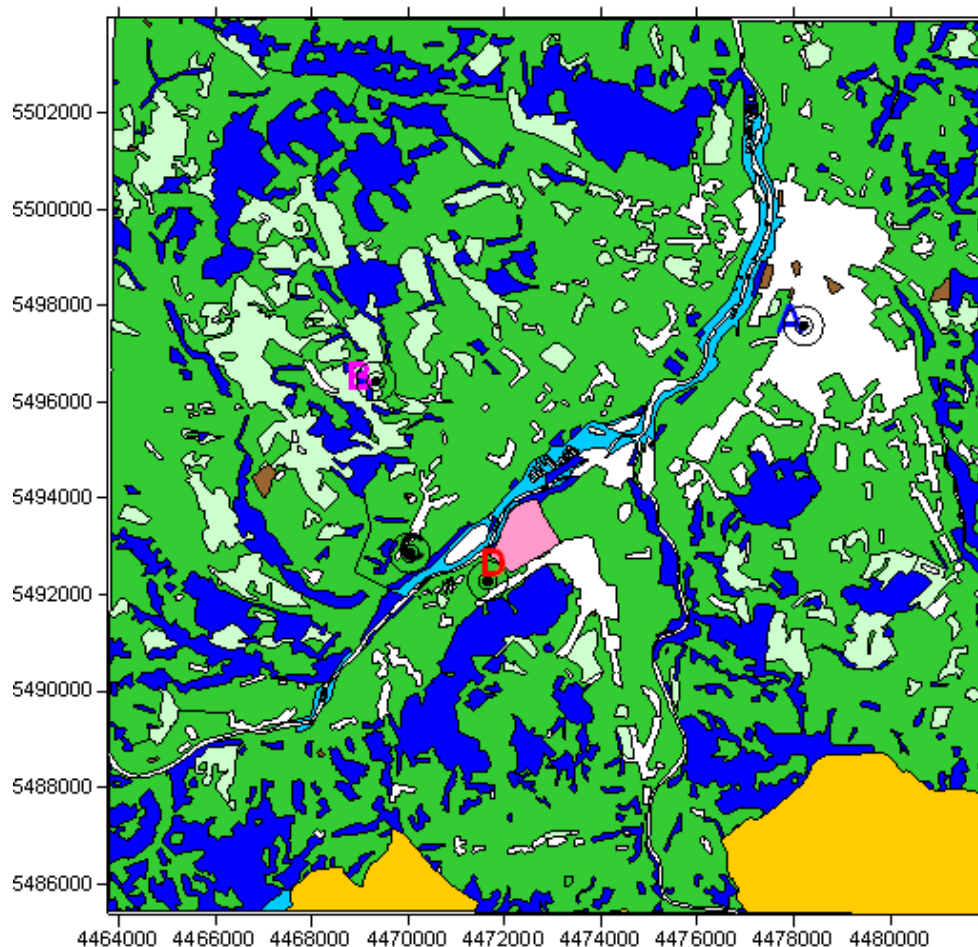
oraz biblioteki ArcObjects opracowanej w technologii COM (Component Object Model). Przedmiotowe analizy dotyczą najczęściej zagadnień optymalizacji parametrów systemów, tj. Wyznaczania [4, 6, 11, 15]:

- współrzędnych lokalizacji poszczególnych elementów–obiektów w systemie,
- współrzędnych węzłów dróg wyznaczających przebieg tras przemieszczania się środków transportu (algorytm komiwojażera, algorytmy Floyda oraz Dijkstry),
- parametrów sterowania procesami elementarnymi (szeregowania i przydziału zadań, sterowanie alokacją, z uwzględnieniem transportu),
- parametrów procesów technologicznych, mających wpływa na wielkość emisji substancji zanieczyszczających,
- parametrów rozdziału obciążeń (przy wykorzystaniu zachłannego algorytmu aproksymacyjnego, realizującego tzw. problem pokrycia wierzchołkowego w grafie).

### **10. Analiza lokalizacji obiektów przetwarzania i unieszkodliwiania odpadów w systemie gospodarki odpadami**

Analiza i ocena optymalnej lokalizacji obiektu termicznego przekształcania odpadów została przeprowadzona przy wykorzystaniu mapy sozologicznej w systemie GIS dla jednego z obszarów Polski. Rozpatrzono cztery lokalizacje (A, B, C, D), które ustalono wstępnie na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego oraz mapy sieci uzbrojenia terenu. Rysunek 10.1 i 10.2 przedstawia wybrane warstwy tematyczne (formy ochrony środowiska przyrodniczego), zgodnie z instrukcją GIS-4, z naniesionymi punktami lokalizacji analizowanego obiektu [4, 17 – 18].

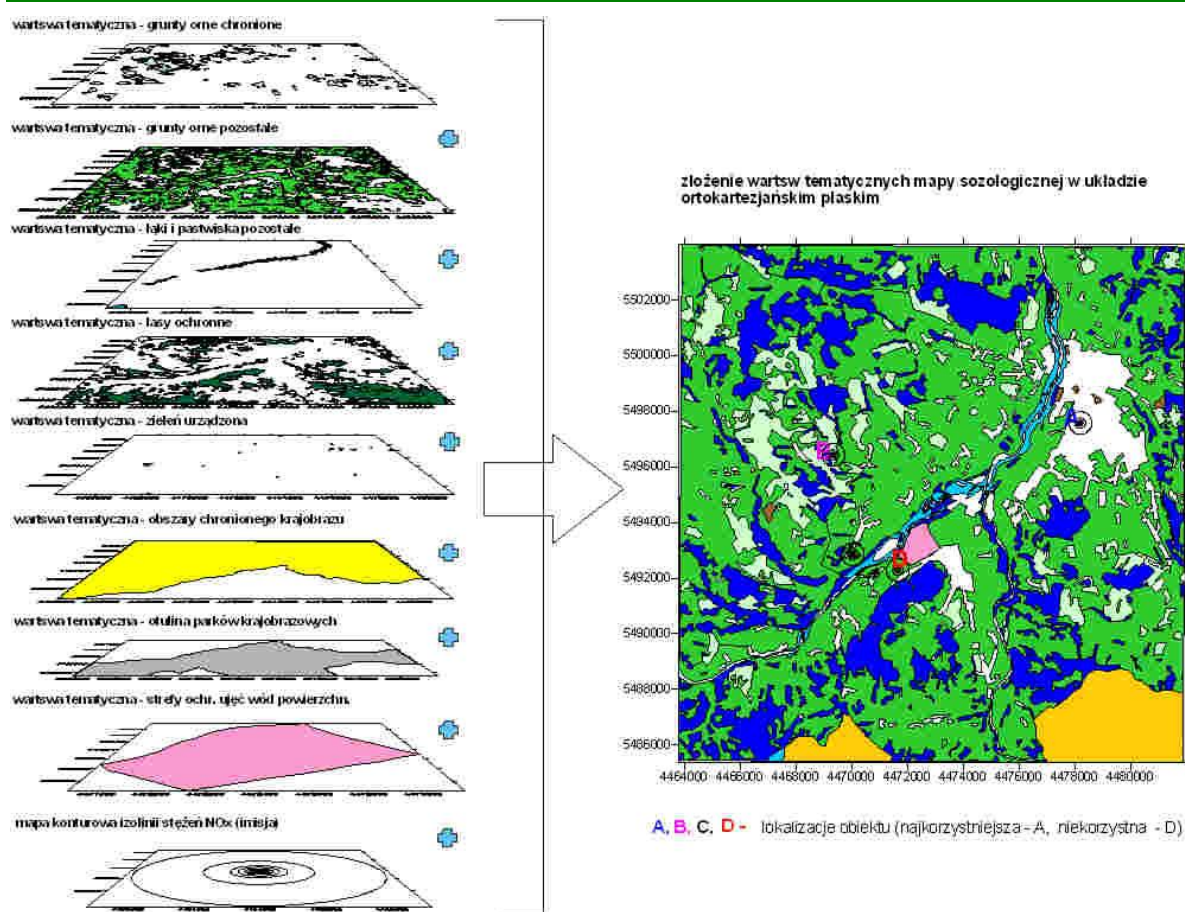
Metodologia wyznaczania optymalnej lokalizacji obiektu polega na obliczeniu składowych macierzy (tablicy) oznaczających odchylenia stężeń substancji w punktach krytycznych zdyskretyzowanego obszaru obliczeniowego (sieci receptorów) od wartości dopuszczalnych, otrzymanych przez analizę współrzędnych punktów występowania przekroczeń, bądź wartości maksymalnych tych odchyień. Analiza odbywa się poprzez superpozycję warstw map tematycznych map konturowych rozkładów stężeń substancji chemicznych, mapy sozologicznej odwzorowanej w rzeczywistym układzie współrzędnych (środowisko GIS), przedstawionych na rys. 10. 2.



Rys. 10.1. Mapa sozologiczna z naniesionymi lokalizacjami obiektu termicznego przekształcania odpadów [opracowanie własne]

Przeprowadzona analiza optymalizacyjna lokalizacji obiektów polegała na symulacji rozkładu zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym dla wybranych lokalizacji (A, B, C, D) i pozwoliła ustalić optymalne (pod względem środowiskowym) położenie obiektu. Wyznaczone wskaźniki jakości środowiska dla poszczególnych substancji zanieczyszczających w wybranych punktach lokalizacji obiektu, determinują wybór optymalnego rozwiązania, tj. lokalizacji A, charakteryzującej się nieznacznym wpływem na poszczególne komponenty środowiska naturalnego. W przypadku lokalizacji w punkcie A, izoliny stężeń substancji zanieczyszczających przecinają tylko dwa podobszary (odpowiadające warstwom tematycznym mapy sozologicznej): grunty orne chronione i zielenie urządzone, natomiast najniekorzystniejsza lokalizacja D, obejmuje znaczące oddziaływanie obiektu na środowisko z uwagi na przecinanie izoliny znacznych podobszarów mapy sozologicznej



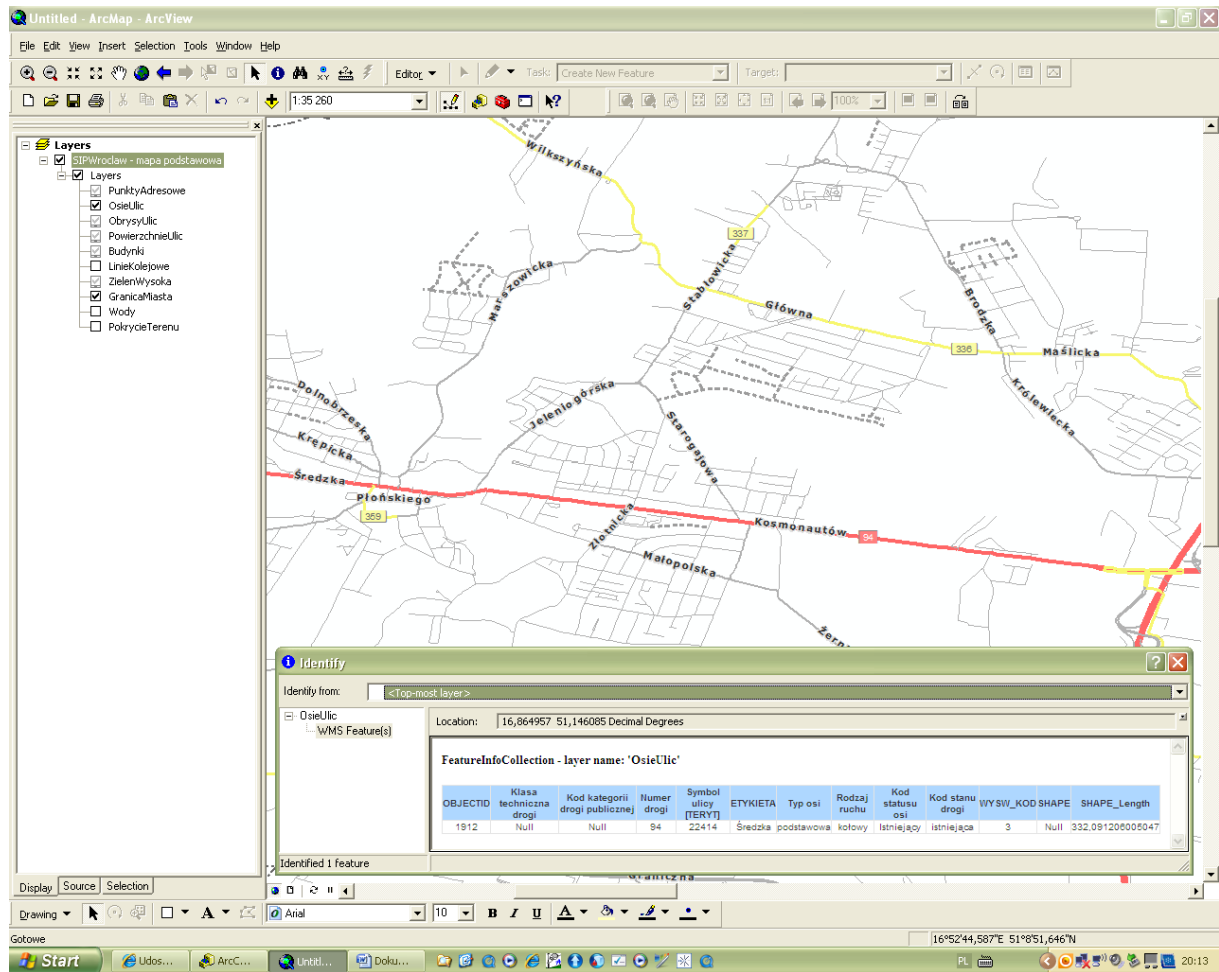


2.

Rys. 10.2. Złożenie mapy konturowej izolinii stężeń maksymalnych dla di tlenku azotu w układzie ortokartezjańskim płaskim na podkładzie wybranych warstw mapy szkodliwej (podobszary), dla lokalizacji A, B, C, D [17]

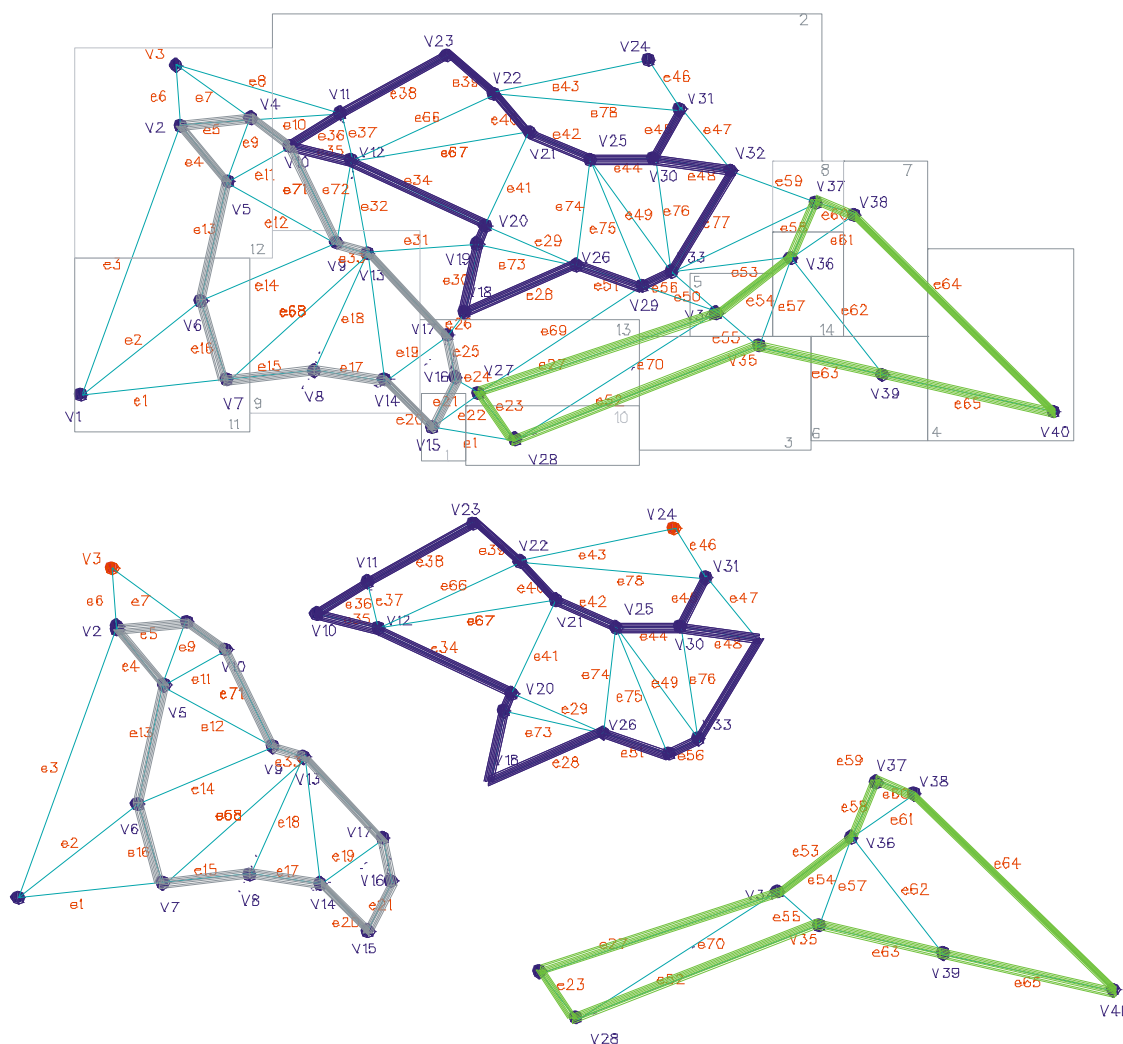
## 11. Optymalizacja tras przemieszczania się środków transportu odpadów – wykorzystanie algorytmu komiwojażera, planarnych grafów topologicznych oraz sieci geometrycznych

Optymalizacja tras przemieszczania się środków transportu odpadów, przeprowadzona została na podkładzie mapy drogowej (rys. 11.1) oraz przy wykorzystaniu znanego algorytmu komiwojażera, wyznaczającego optymalne cykle Hamiltona w modelu sieci geometrycznej, reprezentującej drogi na analizowanym obszarze objętym systemem gospodarki odpadami [8, 17-18].



Rys. 11.1 Mapa podkładowa sieci dróg na rozpatrywanym obszarze [17]

W obliczeniach wykorzystano komponenty interfejsów zdefiniowanych w bibliotece ArcObjects środowiska ArcGIS, reprezentujących parametryzowane grafy topologiczne (iTopologyGraph) oraz sieci geometryczne (Geometric networks).



Rys. 11.2. Optymalne cykle Hamiltona (ścieżki w grafie planarnym) dla mobilnych jednostek w procesie sanitacji odpadów pokrycia zbiórek w procesie spalania odpadów, w wariancie 1 [opracowanie własne]

## 12. Wnioski

Korzyścią płynącą z wykorzystania technologii GIS w wydziałach ochrony środowiska, jednostek samorządu terytorialnego (JST) jest znacząca poprawa dostępności danych, które dzięki usługom WMS oraz WFS wielu geoportali pozwalają w znaczący sposób wspomagać pracę tych jednostek w szeregu działaniach, wynikających z zadań statutowych.

Dodatkowym argumentem, obligującym JST do wdrażania systemów GIS są przepisy międzynarodowe i krajowe. Dyrektywa INSPIRE reguluje kwestie związane z gromadzeniem i publikowaniem danych przestrzennych. Jej uzupełnieniem, rozwinięciem i przełożeniem na polskie warunki jest ustawa o infrastrukturze informacji przestrzennej (IIP) definiująca zakres działań i obowiązków w zakresie tworzenia krajowej infrastruktury informacji przestrzennej (KIIP).

Przedstawione rozwiązania aplikacji desktopowych, stanowią przykład systemu wspomaganie komputerowego w planowaniu i zarządzaniu gospodarką odpadami z wykorzystaniem zaawansowanych technologii typu GIS.

Dynamiczny rozwój oprogramowania i usług sieciowych WMS pozwala efektywnie realizować procedury planowania systemów gospodarki odpadami na poszczególnych szczeblach administracji publicznej w kontekście zadań statutowych jednostek samorządu terytorialnego (JST). Wprowadzenie rozwiązań sieciowych w oparciu o obowiązujący standard WMS, pozwolił na niemal, nieograniczony dostęp do zasobów geodezyjnych i kartograficznych. Szerokie perspektywy wiążą się również z wdrażaniem standardu WFS, pozwalającego na publikowanie danych przestrzennych w postaci formatów wektorowych.

Sektor gospodarki odpadami obok, będący nierozzerwalnie związany z planowaniem przestrzennym stanowi jeden z ważniejszych elementów zarządzania środowiskiem naturalnym. Aplikacje wspomagające urzędników w zakresie gospodarki odpadami mają za zadanie gromadzenie i aktualizowanie danych przestrzennych, ich publikowanie (usługa WMS) oraz planowania systemów gospodarki odpadami, jak również monitorowanie zagrożeń w środowisku naturalnym. Nie bez znaczenia są również elementy analiz statystycznych i prognostycznych w wytwarzaniu odpadów, szczególnie w kontekście nowych obowiązków gmin, wynikających z ustawy.

## Literatura

1. Abou Najm M. , El-Fadel M. Computer-based interface for an integrated solid waste management optimization model. *Environmental Modeling & Software* 19, 1151–1164, 2004,
2. Adamides, E.D.; Mitropoulos, P.; Giannikos, I. & Mitropoulos, I., A multimethodological approach to the development of a regional solid waste management system. *Journal of the Operational Research Society*, 60, 758-770, 2009,
3. Borysiewicz M., Kacprzyk W., Żurek J.: *Air quality modelling. Poradnik zintegrowanych ocen ryzyka i zarządzania zagrożeniami w obszarach przemysłowych*. [http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/warsztaty/materialy%20pomocnicze/pdf\\_zintegrowane\\_oceny\\_ryz\\_i\\_zarz\\_zag/Zinteg\\_oceny\\_ryz\\_i\\_zarz\\_zagroz\\_spis\\_tresci.pdf](http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/warsztaty/materialy%20pomocnicze/pdf_zintegrowane_oceny_ryz_i_zarz_zag/Zinteg_oceny_ryz_i_zarz_zagroz_spis_tresci.pdf). Warszawa, 2001,
4. Kistowski, M., Iwańska, M., Systemy informacji geograficznej, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 1997,
5. Rup K., Procesy przenoszenia zanieczyszczeń w środowisku naturalnym, WNT, Warszawa, 2006.
6. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., *Introduction to algorithms*, WNT, Warszawa, 1999
7. Holstad A.: A mathematical and numerical model for reactive fluid flow systems. "Computational Geosciences" 4/2000,
8. Bilitewski Bernd, Härdtle Georg, Marek Klaus, *Waste Management*, Springer, 1996.
9. Bilitewski, B. Mechanical Sorting Process and Material Recycling, in *Municipal Solid waste Management*, Ludwig, Ch., Hellweg, S. and Stucki, S. (eds), Springer, Berlin Heidelberg, 2003
10. Charnpratheep K., Zhou Q., Garner B., Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems, *Waste Management&Research* 15, 197–215, 1997,
11. Chandler, A.J., Eighmy, T.T., Hartlen, J., Hjelm, O., Kosson, D.S., Sewell, S.E., van der Sloot, H.A. and VEHLow, J. *Studies in Environmental Science 67: Municipal solid waste incineration residues. The international ashworking group (IAWG)*, Elsevier, 1997,
12. Christiansen JH. FACET: A simulation software framework for modeling complex societal processes and interactions. To be published in: *Proceedings of the 2000 summer computer simulation cotierence of the society for computer simulation international*; 2000 Jul 16-20; Vancouver, British Columbia, Canada, 2000,
13. Kraak, M.J. & F.J. Ormeling, *Cartography: visualization of geospatial data*, 2nd edition. Harlow, England, Prentice Hall, 2003,
14. Meijerink A.M.J., de Brouwer H.A.M., Mannaerts C.M., Valenzuela C.R., *Introduction to use of geographic information systems for practical hydrology*, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands, 1994,
15. Barlishen K. D., Baetz B.W., *Development of a Decision Support System for Municipal Solid Waste Management Systems Planning*, *Waste Management & Research* 14, 71–86, 1996,
16. Braunschweig, A. et al. *Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit. Ökofaktoren 1997*, *Methodik Für Oekobilanzen*. Buwal Schriftenreihe Umwelt Nr 297, 1998,
17. Gaska K., Generowicz A., Gądek W., GIS dla środowiska. „Ecomanager” 6/2011,
18. Dumnicki R., Kasprzyk A., Kozłowski M., *Object Oriented Analysis and Design*. Helion. Gliwice 1998.