

Wiesław KĘDZIA, Ewa OCIEPA

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii
Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: wieslaw.kedzia@js.pcz.pl, eociepa@js.pcz.czyst.pl

System informacji przestrzennej (GIS) w zarządzaniu infrastrukturą wodociągową i kanalizacyjną

Do rozwiązywania zadań praktycznych, formułowanych w trakcie projektowania i eksploatacji sieci wodociągowych, wykorzystywane są systemy informacji przestrzennej (GIS). Systemy GIS znajdują praktyczne zastosowanie w wielu dziedzinach. Stąd bierze się różnorodność terminów określających systemy przetwarzające informacje geograficzne, jak system informacyjny bazy danych geograficznych, system danych geograficznych, system informacji przestrzennej. Pomimo różnorodności celów przetwarzania, we wszystkich GIS punktem wyjścia są dane związane z lokalizacją obiektów geograficznych. Celem artykułu jest przedstawienie podstawowej wiedzy o możliwościach systemu informacji przestrzennej (GIS) w dziedzinie wodociągów i kanalizacji, zwłaszcza w zakresie ich utrzymania i eksploatacji. GIS może wspomagać rozwój działań modernizacyjnych, monitoringu i modelowanie sieci wodociągowych i kanalizacyjnych.

Słowa kluczowe: System Informacji Geograficznej (GIS), wodociągi, zarządzanie

Wprowadzenie

W wielu przedsiębiorstwach gospodarki wodnej w Polsce podczas prac eksploatacyjnych, modernizacyjnych i rozwojowych nadal wykorzystuje się papierowe mapy przeglądowe sieci, papierową dokumentację techniczną, zeszyty zleceń i karty pracy. W użyciu są również mapy cyfrowe (jeśli zostały zakupione), na których lokalizuje się miejsca wykonywania prac eksploatacyjnych, lecz już opisy tych prac nierzadko znajdują się w zeszytach, kartach itp., co jest bardzo pracochłonne i zwiększa koszty. Dane zawarte w tych wszystkich źródłach są trudno dostępne. Uzyskanie danych z zasobów archiwalnych wymaga wyszukiwania odpowiednich teczek i właściwych dokumentów. Tradycyjny sposób udostępniania danych jest nieefektywny, utrudnia proces rozwoju i modernizacji sieci, jak również może stanowić istotne zagrożenie dla samych dokumentów, które mogą ulec zniszczeniu lub zagubieniu.

W celu gromadzenia i przetwarzania zebranych danych, a następnie prezentacji wyników stosuje się specjalne systemy baz danych, które analizują informacje przestrzenne. Systemem informacji przestrzennej nazywa się proces pozyskiwania, przetwarzania i udostępniania danych zawierających informacje przestrzenne oraz towarzyszące im informacje opisowe o obiektach wyróżnionych w części przestrzeni objętej działaniem systemu [1].

Dokładność i szczegółowość informacji przechowywanych w systemach informacji przestrzennej prowadzi do wyodrębnienia z nich:

- **systemu informacji geograficznej (GIS)** (ang. Geographic Information System - GIS) - bazujący na informacji wtórnej wtórną (przetworzonej), pod względem dokładności i szczegółowości odpowiada mapom średnio- i małoskalowym (skala 1:10 000 i mniejsze).
- **systemu informacji terenowej SIT** (ang. Land Information System, LIS) - bazujący na informacji pierwotnej (uzyskanej na podstawie bezpośrednich pomiarów terenowych lub na podstawie wielkoskalowych zdjęć lotniczych), pod względem dokładności odpowiada mapom wielkoskalowym (skala 1:5000 i większe) [2].

Intensywny rozwój tego typu oprogramowań znacznie rozszerza możliwości racjonalnego zarządzania systemami zaopatrzenia w wodę i kanalizacji. Dobrym przykładem jest wykorzystanie GIS jako przestrzennej bazy danych do zintegrowanego systemu zarządzania przedsiębiorstwem wodociągów i kanalizacji.

Niniejsza praca ma na celu przedstawienie korzyści, jakie daje GIS w zastosowaniu tego systemu w wodociągach i kanalizacji, jak też udowodnienie, że posługiwanie się stosownym systemem informatycznym, z zapewnieniem odpowiedniego przetwarzania danych, może prowadzić do podejmowania decyzji optymalnych w świetle ustalonych, czasem bardzo złożonych, kryteriów.

1. System informacji geograficznej (GIS)

GIS (ang. *Geographical Information System*) jest komputerowym systemem do zdobywania, przechowywania, sprawdzania, analizowania i prezentacji danych odniesionych przestrzennie do powierzchni ziemi. Można spotkać wiele mniej lub bardziej różniących się definicji GIS [2-6]. Większość definicji określa GIS jako system informatyczny, zawierający różnorodne procedury postępowania (tj. przechowywanie, analizowanie, przetwarzanie, aktualizacja i edycja danych przestrzennych), które są uzależnione od odpowiedniego oprogramowania i sprzętu oraz właściwie przeszkolonego personelu. Podstawą tego systemu jest baza danych przestrzennych, w której przechowywane są szczegóły opisowe obiektów, umożliwiającą prezentację danych w oczekiwanej przez nas formie.

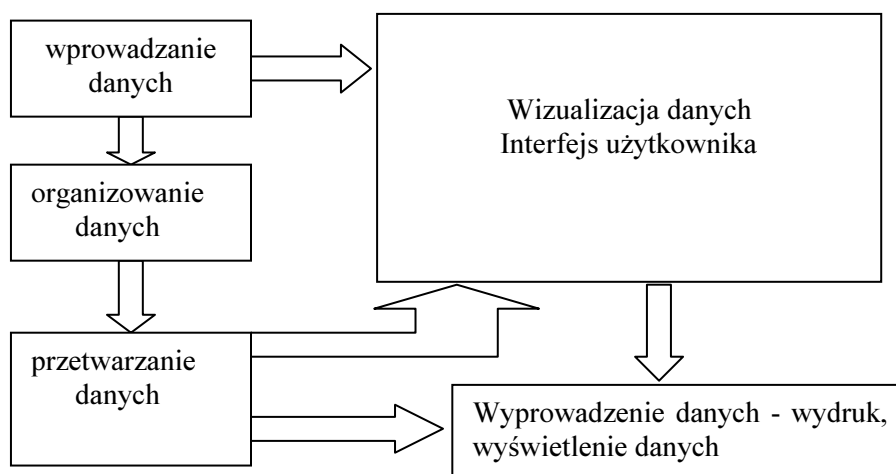
GIS łączy zatem wiele różnych funkcji, które można pogrupować w następujące zasadnicze zbiory:

- pozyskiwanie danych
- przetwarzanie danych
- prezentacja wyników

Można zatem sformułować główne cechy GIS [7, 8], a mianowicie:

- GIS udostępnia mechanizmy wprowadzania, gromadzenia i przechowywania danych oraz zarządzania nimi. Zapewnia ich spójność i pozwala na wstępną weryfikację.

- Na podstawie zgromadzonych danych możliwe jest przeprowadzenie różnorodnych analiz opierających się na relacjach przestrzennych między obiektami.
 - Wyniki analiz przestrzennych mogą być przedstawione w postaci opisowej, tabelarycznej bądź graficznej - jako mapy, wykresy lub rysunki w żądanej postaci.
- Opis modułowy systemu GIS prezentuje rysunek 1.



Rys. 1. Modułowa struktura systemu GIS

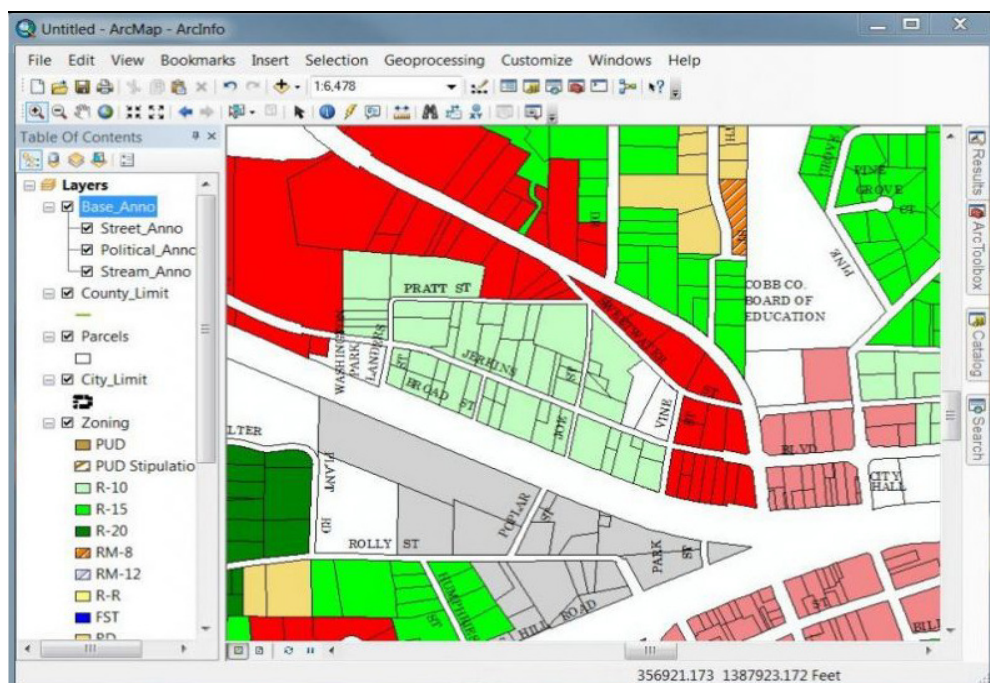
Fig. 1. The modular structure of the Geographical Information System

Dla systemów informacji przestrzennej standardy od ponad 30 lat wytycza firma ESRI (ang. Environmental System Research Institute). Ważnym czynnikiem powodującym rozwój technologii GIS było pojawienie się systemu Windows z interfejsem graficznym. Pierwsze technologie GIS zaczęły być wdrażane szerzej do zarządzania systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi na świecie na początku lat 80., ale intensywniej zaczęto je stosować dopiero pod koniec lat 80. i na początku lat 90. XX w.

W Polsce pierwsze publikacje na ten temat ukazały się w latach 1996-1997 w czasopiśmie „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” [9]. Problematyka ta była również poruszana na kongresie IWSA (ang. International Water Supply Association) w Madrycie w 1997 r., a doświadczenia związane z wdrażaniem tego systemu do zarządzania wodociągami i kanalizacjami są nadal rozwijane w wielu pracach [10-14] oraz na seminariach naukowych organizowanych na Politechnice Warszawskiej we współpracy z firmą Megabit.

Przykład podstawowego pakietu oprogramowania ArcGIS firmy ESRI przedstawia rysunek 2. Jest to pakiet ArcView GIS, który składa się z aplikacji ArcMap, ArcCatalog i ArcToolbox.

ArcGis jest podstawowym pakietem oprogramowania ArcGis Desktop zapewniającym wizualizację kartograficzną, narzędzia do zarządzania i analizowania danych geograficznych oraz podstawowe narzędzia do tworzenia i edycji tych danych.



Rys. 2. Wybrane okno oprogramowania GIS-ArcMap ESRI [15]

Fig. 2. Selected ArcMap GIS software, ESRI [15]

ArcMap jest aplikacją do edycji, prezentowania i analizowania danych przestrzennych na mapie. Jest w pełni graficzną aplikacją przystosowaną do pracy ze wszystkimi typami danych przestrzennych. Zawiera zaawansowany graficznie system, umożliwiający w sposób statystyczny prezentowanie danych, obiektowo zorientowany edytor i generator raportów. Edytor obiektów posiada wiele funkcji edycji graficznej popularnych w pakietach typu CAD. Jest zintegrowany ze standardowymi aplikacjami Microsoft Office, dając możliwość dołączania map do nowych dokumentów, tworzonych w tym środowisku.

ArcCatalog jest aplikacją zorientowaną na dane, która lokalizuje, przegląda i zarządza danymi przestrzennymi. W ArcCatalogu można tworzyć i zarządzać bazami danych przestrzennych. Aplikacja ma zastosowanie do projektowania schematu struktury bazy danych, do definiowania i korzystania z metadanych.

ArcToolbox jest środowiskiem do wykonywania masowego przetwarzania danych przestrzennych, takich jak konwersja danych, analizy przestrzenne, buforowanie czy transformacje [9].

Do oceny mikrobiologicznej zdrowia związanej z użyciem wody pitnej, potrzebny jest szeroki wybór informacji. Wiele z tych informacji ma wymiar przestrzenny. Moduł GIS Wodociągi struktury WSS-GIS (ang. *water supply structure*) został zbudowany dla wsparcia obsługi i wykorzystania dostępnych danych ilościowych dotyczących systemu zaopatrzenia w wodę pitną oraz jej pochodzenia [16]. Również w dziedzinie analizy systemu dystrybucji wody WDS (ang. *water distribution system*) dzięki algorytmom z GIS dochodzenie do rzeczywistych wyników pracy sieci hydraulicznej jest znacznie szybsze i uproszczone.

Dzięki narzędziom GIS można prowadzić studia dotyczące modelowania jakości wód powierzchniowych czy wpływu różnego rodzaju zanieczyszczeń na stan środowiska wodnego. Model pozwala na dokonywanie symulacji dla kilkunastu wskaźników jakości wody: tlen rozpuszczony, temperatura wody, azot organiczny, azot amonowy, azot azotynowy, fosfor organiczny, fosfor rozpuszczony, chlorofil, wybrane zanieczyszczenia nierozkładalne, nierozkładalne zanieczyszczenia nieorganiczne i inne. Podstawowymi danymi umożliwiającymi analizę środowiska wodnego są dane dotyczące ciągłych obserwacji tego środowiska, czyli dane z monitoringu ilościowego i jakościowego stanu zasobu wodnych oraz przebiegu procesów kształtujących te zasoby [17, 18].

Dane w GIS, zwane również danymi przestrzennymi lub geograficznymi, opisują obiekty identyfikowane w odniesieniu do powierzchni Ziemi. Obiekt rozumiany jest jako najmniejszy element na mapie cyfrowej, któremu przyporządkowane są atrybuty przestrzenne (kształt, wielkość, położenie, relacje z innymi obiektami) i opisowe (charakteryzujące obiekt) [19].




W systemach zaopatrzenia w wodę i kanalizacji można rozważać obiekty w zależności od potrzeb użytkowników GIS jako różnego rodzaju kategorie, na przykład:

- obiekty w rozumieniu technicznym - odcinek przewodu wodociągowego, odcinek kanału, zasuwa, hydrant, wpust deszczowy, fragment sieci przewodów wykonanych z danego materiału itp.,
- obiekty w rozumieniu społecznym - kategorie odbiorców wody (mieszkalnictwo jednorodzinne i wielorodzinne, usługi), dostawcy ścieków itp.,
- obiekty w rozumieniu ekonomicznym - wysokość opłat za wodę, koszty traconej wody w systemie dystrybucji itp.,
- obiekty w rozumieniu geograficznym - rejony zaopatrzenia w wodę, strefy ciśnienia, dzielnice miasta itp.

Istotną właściwością GIS jest uwzględnienie relacji przestrzennych między elementami obiektu, tj.:

1. spójności,
2. sąsiedztwa/przyległości,
3. bliskości,
4. kolejności/następstwa.

Obiekty techniczne ujmowane w bazie danych wodociągowych i kanalizacyjnych mogą być reprezentowane za pomocą przykładowych symboli:

punkt/węzeł	
odcinek	
obiekt przestrzenny	
tekst	<i>ujęcie wody</i>

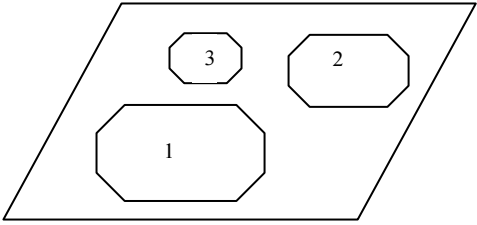
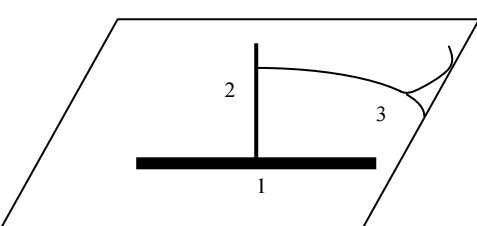
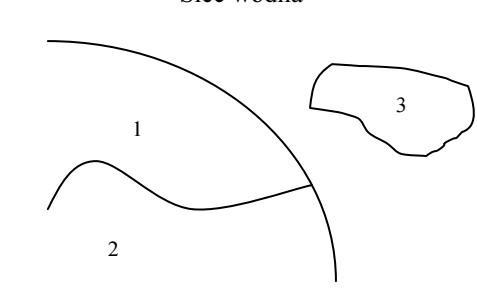
Obiekty techniczne odpowiadają rzeczywistym elementom w tych systemach, takim jak: odcinki przewodów, zasuwy, studnie, pompownie, zbiorniki itp. Bardzo ważna dla prawidłowego zarządzania siecią wodociągową czy kanalizacyjną jest właściwa identyfikacja obiektów, które będą podstawą budowy modelu infrastruktury technicznej w bazie GIS. Można wyeksponować kilka najważniejszych zadań, którym powinna służyć odpowiednia identyfikacja obiektów, a mianowicie [19]:

- tworzenie różnych struktur i klasyfikacji obiektów w celu:
 - ewidencji sieci,
 - ewidencji awarii,
 - sprawozdawczości,
 - raportowania,
 - ocen przekrojowych stanu obiektów,
 - analiz statystycznych;
- analizy zdarzeń w różnej konfiguracji (dla wyodrębnionych obiektów lub różnych grup obiektów) - rodzaje, przyczyny i skutki uszkodzeń,
- wyznaczenie wskaźników niezawodności, a przede wszystkim intensywności uszkodzeń,
- oszacowanie stanów zagrożeń związanych z danym obiektem i oceny ryzyka niezdatności sieci,
- ułatwienie podejmowania decyzji co do sposobu odnowy obiektu (w tym celu wykorzystuje się oceny uszkodzalności i niezawodności).

Dane występujące w GIS (dane geograficzne/przestrzenne) można podzielić na dwie grupy:

- dane przestrzenne, zwane atrybutami przestrzennymi, które określają położenie (współrzędne) i kształt, a także relacje topologiczne z innymi obiektami i są wykreślane na mapie; reprezentują więc położenie obiektu i jego charakter (linie, punkty, obszary), na przykład reprezentacją geometryczną przewodu wodociągowego będzie ciąg linii, a charakter przewodu może być nadany za pomocą koloru linii, na przykład przewód magistralny, rozdzielczy, przyłącze wodociągowe, kanalizacyjne;
- atrybuty opisowe - to dane tekstowe i liczbowe charakteryzujące obiekt pod względem ilościowym i jakościowym, na przykład: w odniesieniu do przewodu będą to: średnica, rodzaj materiału, długość odcinka itp.

Przykład grupy danych w GIS pokazano na rysunku 3.

Dane opisowe i dane przestrzenne w systemach GIS																	
Dane przestrzenne	Dane opisowe																
<p>Obszary zabudowane</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Obiekt</th> <th>Rodzaj</th> <th>Nazwa</th> <th>Ludność</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Miasto</td> <td>Częstochowa</td> <td>238 737</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Miasteczko</td> <td>Wieluń</td> <td>24 033</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Wieś</td> <td>Pajęczno</td> <td>6817</td> </tr> </tbody> </table>	Obiekt	Rodzaj	Nazwa	Ludność	1	Miasto	Częstochowa	238 737	2	Miasteczko	Wieluń	24 033	3	Wieś	Pajęczno	6817
Obiekt	Rodzaj	Nazwa	Ludność														
1	Miasto	Częstochowa	238 737														
2	Miasteczko	Wieluń	24 033														
3	Wieś	Pajęczno	6817														
<p>Drogi</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Obiekt</th> <th>Rodzaj</th> <th>Nazwa</th> <th>Długość</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Krajowa</td> <td>E1</td> <td>134</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Lokalna</td> <td>E94</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Wiejska</td> <td></td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Obiekt	Rodzaj	Nazwa	Długość	1	Krajowa	E1	134	2	Lokalna	E94	32	3	Wiejska		3
Obiekt	Rodzaj	Nazwa	Długość														
1	Krajowa	E1	134														
2	Lokalna	E94	32														
3	Wiejska		3														
<p>Sieć wodna</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Obiekt</th> <th>Rodzaj</th> <th>Nazwa</th> <th>Klasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Rzeka</td> <td>Kamieniczka</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Rzeka</td> <td>Rudawa</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Jezioro</td> <td>Białe</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Obiekt	Rodzaj	Nazwa	Klasa	1	Rzeka	Kamieniczka	3	2	Rzeka	Rudawa	2	3	Jezioro	Białe	1
Obiekt	Rodzaj	Nazwa	Klasa														
1	Rzeka	Kamieniczka	3														
2	Rzeka	Rudawa	2														
3	Jezioro	Białe	1														

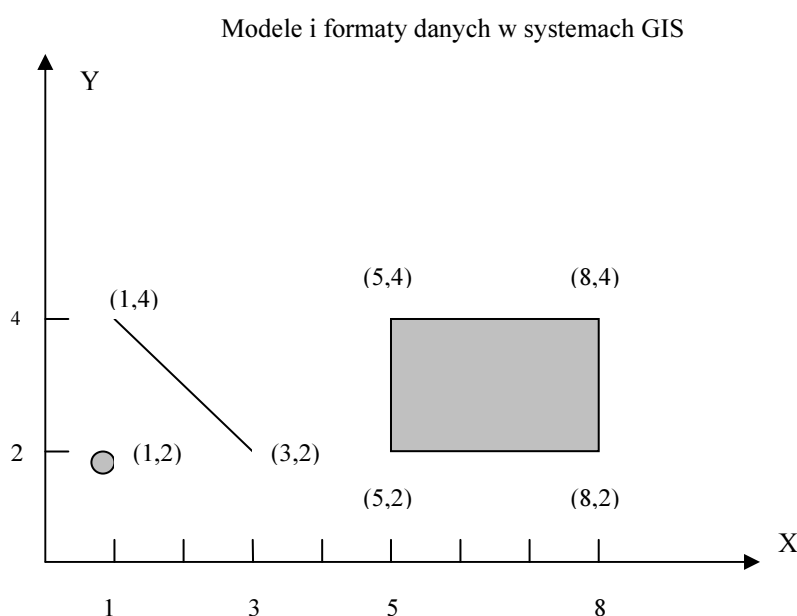
Rys. 3. Dane przestrzenne i opisowe w strukturze danych w bazie GIS

Fig. 3. Spatial and descriptive data in the data structure GIS database

Obiekty są przedstawione w GIS za pomocą dwóch podstawowych modeli danych - wektorowego i rastrowego, chociaż stosowane są także modele hybrydowe rastrowo-wektorowe oraz model atrybutowy. W przypadku obiektów wodociągowych i kanalizacyjnych zastosowanie ma przede wszystkim wektorowy zapis danych, a w szczególności w odniesieniu do sieci przewodów wodociągowych. Model rastrowy natomiast stanowi najczęściej podkład do innych warstw wektorowych.

W wektorowym modelu danych lokalizację obiektu opisują współrzędne w geograficznym układzie odniesienia. W przypadku lokalizacji dwuwymiarowej wykorzystuje się współrzędne (x, y) , zaś przy przestrzennej prezentacji obiektu trzy współrzędne (x, y, z) . Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy model zapisu danych w systemie GIS w postaci wektorowej. Dane wektorowe w postaci współrzędnych służą do opisu właściwości geometrycznych obiektów przestrzennych, takich jak punkty, linie, powierzchnie. Punkty zapisywane są jako pary współrzędnych X, Y . Linie zapisywane są jako uporządkowane serie par współrzędnych. Powierzchnie zapisywane są jako uporządkowane serie par współrzędnych X, Y .

Podstawą GIS są mapy cyfrowe, których cechą jest odwzorowanie kartograficzne, skala i symbolika. Odwzorowanie kartograficzne pozwala sferyczną powierzchnię Ziemi przedstawić na płaskiej powierzchni mapy według określonych zasad i reguł matematycznych.



Rys. 4. Model zapisu danych w systemie GIS w postaci wektorowej

Fig. 4. Model writing data in the GIS system in vector form

Źródłem danych dla GIS są praktycznie wszystkie informacje z modelowanego świata rzeczywistego. Dane te mają różnorodny charakter, tak jak i źródła, z których się je uzyskuje. Nowoczesne technologie pozwalają pozyskać dane w sposób bezpośredni, na przykład wprost z przestrzeni kosmicznej za pomocą systemów nawigacji satelitarnej, zdjęć lotniczych wykonanych z pomocą specjalnych skanerów i systemu monitoringu.

Pozyskiwanie danych jest niezwykle kosztowne - mogą stanowić 75%, a nawet 85% całkowitych kosztów projektu GIS. Koszty te obejmują metody konwersji danych (digitalizacja, skanowanie itp.), ich przygotowanie i zależą w dużej mierze

od dostępności gotowych zasobów danych, a głównie map cyfrowych miast. Jeżeli takie mapy istnieją, koszty pozyskiwania danych mogą być dużo mniejsze [20].

Większość danych zazwyczaj w przedsiębiorstwach wodociągowych już istnieje w postaci analogowej bądź cyfrowej. Muszą one być jednak przekształcone w odpowiedni format. W przetwarzaniu danych analogowych do postaci cyfrowej wykorzystuje się specjalne urządzenia elektroniczne, których funkcją jest kwantowanie i zapis danych w postaci wektorowej lub rastrowej. Wektorową postać danych uzyskuje się za pomocą digimetrów lub digitalizatorów, zaś rastrową przez skanowanie przy użyciu skanerów.

2. Możliwości zastosowań GIS

Możliwości, jakie daje GIS w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi, są bardzo duże. Jedną z nich jest znaczne uporządkowanie i dobre udokumentowanie przepływu informacji, usprawnienie podejmowania decyzji czy służące modelowaniu i symulacji sieci wodociągowej. Aktualnie dostępnych jest wiele komputerowych pakietów programowych umożliwiających modelowanie i symulowanie pracy sieci wodociągowych.

Oprogramowanie GIS daje bardzo duże możliwości edycji modelu sieci wodociągowej, a wprowadzone dane można uzyskać na podstawie plików zawierających warstwy wektorowe (pliki .shp), lub w postaci relacyjnej bazy danych o określonej strukturze.

Spośród znanych pakietów programowych, służących do modelowania i symulacji sieci wodociągowych, najczęściej używany jest pakiet EPANET [21], wykorzystywany także do projektowania sieci. Oprogramowanie EPANET zostało opracowane przez Agencję Ochrony Środowiska USA (U.S. Environmental Protection Agency) w celu komputerowych symulacji hydraulicznych oraz symulacji jakości wody w sieci wodociągowej [22]. Oprogramowanie jest udostępnione na zasadach licencji publicznej (ang. *public domain*) i daje możliwość wykorzystywania samej aplikacji, jak też programów źródłowych do zastosowań komercyjnych.

Dokładne modele wykonane w EPANET pozwalają projektować między innymi złożone sterowanie pompowniami i napełnianiem zbiorników w sieciach wodociągowych. Powstają także dodatkowe użyteczne nakładki oprogramowania EPANET, np. moduł do kalibrowania parametrów sieci wodociągowej. Główną zaletą oprogramowania EPANET jest możliwość współpracy z zewnętrznymi aplikacjami [22].

Część informacji o obiektach wodociągowych czy kanalizacyjnych, opisująca historię ich rozwoju i modernizacji, z upływem czasu uległaby zagubieniu lub była niezdatna do użytku, gdyby nie została wprowadzona do komputerowej bazy danych. W ten sposób zdecydowanie wzrasta jakość informacji technicznych dotyczących majątku przedsiębiorstwa.

Przedsiębiorstwa, eksploatując wodociągi i kanalizacje, muszą być pewne, że informacje, które opisują infrastrukturę techniczną, są zarówno aktualne, jak i do-

kładne. Korzystanie z GIS odgrywa zasadniczą rolę w poprawieniu jakości i dostępności danych. Ponadto jest doskonałym narzędziem do analizy banku danych o majątku przedsiębiorstwa i wykrywania potencjalnych problemów, zanim staną się one niebezpieczne dla funkcjonowania infrastruktury wodociągowej czy kanalizacyjnej [23]. Rozproszenie infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej powoduje, że szczególnego znaczenia nabiera problem lokalizacji odcinków, przyłączy czy armatury sieci. Z kolei dane dotyczące położenia innych sieci (gazowych, energetycznych, ciepłowniczych) są cenną informacją przy usuwaniu awarii, rozbudowie itp.

Najważniejszymi zadaniami GIS w odniesieniu do systemów wodociagowych i kanalizacyjnych są:

- uporządkowanie, racjonalizacja i weryfikacja inwentaryzacji,
- scentralizowanie informacji i danych,
- ułatwienie dostępu do danych oraz szybki przekaz informacji,
- wykonywanie analiz i ocen na potrzeby podejmowania różnych decyzji,
- umożliwienie bieżącej i ciągłej kontroli parametrów sieci,
- umożliwienie bieżącej i ciągłej kontroli jakości wody w sieci wodociągowej,
- umożliwienie wizualizacji wyników analiz symulacyjnych pracy sieci,
- usprawnienie obsługi klienta,
- usprawnienie procesu usuwania awarii,
- usprawnienie realizacji bieżących zadań eksploatacyjnych i planowanie rozwoju.

Dane zapisane w postaci papierowej nie są trwałe i nierzadko ulegają zniszczeniu, dlatego wprowadzenie ich do bazy GIS znakomicie ułatwia i porządkuje sposób korzystania z zasobów informacyjnych. Dzięki temu możliwy jest szybki dostęp do danych i równie szybki przekaz informacji po przetworzeniu zgromadzonych danych. Scentralizowanie informacji i danych znacznie usprawnia kontrolę i sterowanie pracą całego systemu wodociągowego i kanalizacyjnego przez regulację sieci (regulatory ciśnienia, regulatory przepływu) [8, 24].

Przetworzone dane, w postaci na przykład wskaźników pozwalających na ocenę stanu rozwoju sieci na danym terenie czy też stanu wyposażenia danego obszaru miasta w sieć, ułatwiają podejmowanie decyzji o jej rozbudowie. Umożliwienie bieżącej i ciągłej kontroli parametrów pracy sieci może być efektem współpracy bazy GIS z systemem monitoringu. Wyniki pomiarów ciśnienia, prędkości i przepływu w sieci wodociągowej oraz napełnień i przepływu w kanałach są gromadzone w sposób ciągły w bazie, gdzie mogą być przetwarzane i prezentowane w dogodny dla użytkownika sposób. To samo odnosi się do wyników badań jakości wody w sieci wodociągowej. GIS może również efektywnie współpracować z modelem sieci stworzonym w innym systemie. Model zasilany z bazy GIS danymi opisującymi aktualną strukturę sieci eksportuje wyniki obliczeń symulacyjnych z powrotem do bazy. Dzięki temu istnieje możliwość śledzenia i analizowania na przykład wartości ciśnienia i przepływu w każdym punkcie sieci wodociągowej, a w przypadku sieci kanalizacyjnej wysokości wypełnienia kanałów i natężenia

przepływu ścieków. Współpraca modelu sieci wodociągowej z bazą danych pozwala także na symulację zmian parametrów jakości wody w sieci [8, 24].

Na sieciach wodociągowych i kanalizacyjnych można też prowadzić bardziej szczegółowe prace eksploatacyjne, wspomagając się technologią GIS:

- rozpoznanie zgłoszeń awarii oraz klasyfikacja prac związanych z ich usuwaniem,
- planowanie remontów i konserwacji,
- planowanie realizacji zadań szczegółowych w ramach usuwania awarii i prac planowych,
- pomoc w zapewnieniu środków technicznych, materialnych i personelu niezbędnych do realizacji zadań,
- organizacja prac awaryjnych,
- długoterminowe planowanie czynności eksploatacyjnych,
- rozliczenia materiałowe związane z wykonaniem prac [24].

GIS może usprawnić również prace w innych działach przedsiębiorstwa:

- 1) w dziale technicznym mogą to być na przykład:
 - edycja i obsługa map cyfrowych,
 - udostępnianie map cyfrowych w sieci przedsiębiorstwa,
 - gromadzenie, aktualizacja i udostępnianie informacji dotyczących obiektów na sieci,
 - udostępnianie elektronicznej wersji dokumentów archiwalnych w sieci przedsiębiorstwa,
 - wykonywanie analiz dotyczących zmian w ewidencji sieci;
- 2) w dziale przygotowania i realizacji inwestycji oraz remontów:
 - analizowanie informacji dotyczących awarii i stopnia zużycia urządzeń sieciowych,
 - typowanie obiektów do remontów i wymiany,
 - planowanie inwestycji i remontów,
 - wykorzystanie wyników z modelowania sieci do planowania i rozwoju,
 - szczegółowe planowanie wykonania prac inwestycyjnych i remontowych,
 - kontrola wykonania prac inwestycyjnych i remontowych;
- 3) w dziale sprzedaży można wykorzystać informacje dotyczące przyłączy wodociągowych i kanalizacyjnych, weryfikować przyłącza pod kątem umów na dostawę wody i odprowadzanie ścieków. Połączenie GIS ze zdalnym systemem rejestracji zużycia wody daje ogromne możliwości bieżącej kontroli i weryfikacji dostawy wody do odbiorców oraz wspomagania systemu rozliczania za wodę i ścieki;

Informacje rejestrowanych przez dział techniczny na temat różnych obiektów na sieciach wodociągowej i kanalizacyjnej mogą być także wykorzystane w dziale ewidencji majątku trwałego, a w dziale ekonomiczno-finansowym można wykorzystać informacje dotyczące prac na sieci i nakładów na nie poniesionych [8, 24].

GIS współpracuje również z arkuszami kalkulacyjnymi, systemami ekspertowymi, programami statystycznymi itp. Jako narzędzie o wielu możliwościach potrafi współpracować z innymi aplikacjami, wykorzystywanymi zarówno przy kre-

śleniu rysunków technicznych, wykonywaniu dokumentacji i zapisie prostych obiektów geometrycznych, takimi jak CAD (ang. *Computer-Aided Design*, Komputerowe Wspomaganie Projektowania), CAM (ang. *Computer Aided Manufacturing*, Komputerowe Wspomaganie Wytwarzania Map). Ściśle współpracuje również z systemami zarządzania bazami danych DBMS (ang. *Database Management System*) w różnej postaci, a także z systemami teledetekcji (ang. *remote sensing*).

W celu zapewnienia racjonalnego zarządzania systemami dystrybucji wody i kanalizacji GIS może również współpracować z innymi systemami, takimi jak na przykład SCADA (ang. *Supervisory Control And Data Acquisition*), system rejestracji wskazań wodomierzy, połączony z rozliczaniem odbiorców, zarządzanie pracami, ewidencja i ocena awaryjności, systemy lokalizacji wycieków wody z sieci i ich ograniczania, systemy ukierunkowanego płukania sieci.

Przyspieszony rozwój systemów komputerowych spowodował powstanie wielu programów nowej generacji. W porównaniu z poprzednimi wyróżniają się one przede wszystkim dużo lepszymi możliwościami prezentacji wyników obliczeń. Parametry pracy sieci są obrazowane graficznie na schemacie układu tej sieci. Możliwości w tym zakresie są ciągle wzbogacane z wykorzystaniem baz danych typu GIS.

Podsumowanie

W przedsiębiorstwach wodociągowych w bardzo niewielkim stopniu mają zastosowanie komputerowe systemy wspomaganie decyzji i zarządzania. Są one stosowane głównie w dużych przedsiębiorstwach, natomiast w przedsiębiorstwach średnich i małych zakres stosowania tego typu systemów jest marginalny. Często decyduje też mała wiedza na temat znaczenia i korzyści, jakie daje stosowanie technologii GIS w zarządzaniu infrastrukturą wodociągową i kanalizacyjną wśród menedżerów i personelu niższego szczebla. Na wdrożenie GIS mają wpływ również trudności obiektywne we współpracy między przedsiębiorstwami wdrażającymi a jednostkami geodezyjnymi odpowiedzialnymi za tworzenie cyfrowych map terenu. W bardzo niewielkim stopniu są rozwijane systemy wspomagające gromadzenie i analizę dużych ilości danych on-line, np. monitoringu hydraulicznych parametrów pracy sieci, które muszą w tym celu współpracować z bazą GIS.

Przed wdrożeniem GIS użytkownik musi zdefiniować własny opis danych, obejmujący sposób ich organizacji i związki zachodzące między nimi. Informacje grupowane są w postaci tzw. obiektów, jak np. odcinek przewodu, zasuwa, studzienka rewizyjna itp. Każdy obiekt musi być jednoznacznie zdefiniowany i scharakteryzowany, a jego związki z innymi obiektami powinny być ściśle określone (np. studzienka rewizyjna związana z określonym odcinkiem kanału, ułożonym określonym ciągiem komunikacyjnym). Konieczne jest również określenie źródła danych o każdym obiekcie (np. spis środków trwałych, plik tekstowy, mapa itp.). Dane jednak nie powinny się dublować. Może to prowadzić do przeszacowania danych. Problemy w trakcie korzystania z GIS mogą być bowiem rezultatem prze-

szacowania zakresu i ilości niezbędnych danych, przez co wydłuża się czas uzyskania rezultatów i wzrastają koszty użytkowania systemu [20, 25].

GIS jest doskonałym narzędziem do analizy i oceny danych o majątku przedsiębiorstwa i ujawniania potencjalnych problemów, zanim staną się one krytyczne i kosztowne. W przypadku służb eksploatacyjnych, a głównie pogotowia wodociągowego, GIS powinien ułatwić szybszą lokalizację miejsc awarii i umożliwić lepszą koordynację działań w zakresie usuwania uszkodzeń. Działania rozwojowe mogą być skuteczniej prowadzone dzięki możliwości tworzenia różnych rozwiązań zarówno pod względem technicznym, jak i kosztów wdrożenia.

Technologia GIS znajduje w przedsiębiorstwie wodociągowym zastosowanie wszędzie tam, gdzie występuje problem wyboru lokalizacji nowego ujęcia wody, stacji oczyszczania, pompowni czy trasy przewodów przesyłowych. Wzrost możliwości aplikacji GIS w obszarze wodociągów i kanalizacji będzie postępował jako pochodna rozwoju:

- 1) technologii tworzenia map topograficznych w wykorzystaniem zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych,
- 2) czujników i urządzeń do zdalnego gromadzenia danych w czasie rzeczywistym,
- 3) urządzeń i sieci do szybkiej bezprzewodowej transmisji danych (technologie telefonii komórkowej GSM, kanały radiowe i in.),
- 4) technologii kontroli oraz regulacji sieci i obiektów w czasie rzeczywistym,
- 5) aplikacji trójwymiarowej wizualizacji obiektów i sieci w GIS,
- 6) przenośnych baz danych typu GIS, umożliwiających automatyczne gromadzenie, weryfikację i uzupełnianie baz oraz map z obiektami wodociągowymi i kanalizacyjnymi,
- 7) Internetu

Od wielu lat GIS jest nie tylko teoria, ale standardowym narzędziem informacyjnym, wspomagającym działalność firm, instytucji oraz osób indywidualnych. Na technologii GIS oparte są portale geoinformacyjne, systemy nawigacji samochodowej, lotniczej i morskiej, a także tak rozpowszechnione aplikacje, jak GoogleEarth [26].

Krajowe i światowe uregulowania prawne oraz demokratyzacja życia publicznego wymagają dostosowania i rozwijania metod badawczych związanych z bezpieczeństwem funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę. Znaczenia nabierają terminy „bezpieczeństwo” i „ryzyko”, które powszechnie są używane w różnych aspektach praktyki dnia codziennego. Centralizacja produkcji wody i usług z tym związanych, masowe spożycie wody wodociągowej, oczekiwania konsumentów - czysta, zdrowa woda - stanowią wyzwanie dla nauki oraz techniki. Nakładki systemowe w GIS do identyfikacji obszarów potencjalnego zagrożenia, funkcjonalność GIS do pozyskiwania wody czystej sprawiają, że staje się ono bardzo użytecznym narzędziem do poprawy oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem [27].

Geograficzne systemy informacyjne ze względu na swoje możliwości będą nadal tworzyć wspólną platformę dla bardzo wielu systemów i działań z zakresu zarządzania i eksploatacji, rozwoju oraz modernizacji obiektów wodociągowych

i kanalizacyjnych [28, 29]. Można zatem przyjąć dalszy rozwój kompleksowych systemów typu GIS, współpracujących z monitoringiem sieci on-line, modelem sieci i innymi systemami zarządzania pracami, materiałami, kosztami prac modernizacyjnych, systemem kontroli wycieków wody, systemem jakości wody, systemem rozliczeń odbiorców wody i dostawców ścieków itp.

Literatura

- [1] Gaździcki J., Systemy informacji przestrzennej, Wyd. PPWK, Warszawa-Wrocław 1990.
- [2] Gaździcki J., Leksykon geomatyczny, Polskie Towarzystwo Informatyki, Warszawa 2001.
- [3] Blaschke T., Carlisle B., Kenton S., Kozak J., Lang S., Schwab A., Smith G., Troll M., Widacki W., EnviroGIS Case Studies, Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kraków 1995-1998.
- [4] Burrough P.A., McDonnell R.A., Principles of Geographical Information Systems, 2nd ed., Oxford University Press 1998.
- [5] Clarke K.C., Getting Started with Geographic Information Systems, Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey 1996.
- [6] Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., GIS teoria i praktyka, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2008.
- [7] Laska M., Systemy informacji przestrzennej, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1999.
- [8] Kwietniewski M., GIS w wodociągach i kanalizacji, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2008.
- [9] Kwietniewski M., Elżanowski R., Przykłady zastosowań Geograficznych Systemów Informacji w funkcjonowaniu przedsiębiorstw wodociągowych i kanalizacyjnych na świecie, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1997, s. 48-56.
- [10] Gromiec M. red., Systemy wspomagania decyzji w gospodarce wodnej, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2006.
- [11] Kwietniewski M., Information systems for distribution management, National report in the 7 International Raport, pp. IR7 30-31, International Water Supply Association (IWSA), World Congress 1997, Madrid 1997.
- [12] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Wróbel K., Możliwości zastosowania GIS w wodociągach na przykładzie wybranego systemu dystrybucji wody, Ochrona Środowiska 2007, 29, 3, 73-76.
- [13] Kotowski A., Pawlak A., Sambor A., O możliwości budowy modeli wodociągowych w oparciu o GIS, Forum Eksploatatora 2007, 1(28), 45-47.
- [14] Kotowski A., Pawlak A., Budowa modeli systemów zaopatrzenia w wodę z wykorzystaniem geograficznych systemów informacji, IX Konferencja Naukowo-Techniczna Infrastruktura podziemna miast, Wrocław 2005, 282-293.
- [15] Lampart A., Piechurski F., System GIS jako nowe narzędzie w analizie sieci wodociągowej na przykładzie osiedla w Gliwicach, III Konferencja Naukowo-Techniczna Politechniki Śląskiej Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych, Ustroń 2000, 153-169.
- [16] <http://www.esri.pl/o-nas/partnerzy/>
- [17] Kistemann T., Herbst S., Dangendorf F., Exner M., GIS-based analysis of drinking-water supply structures: a module for microbial risk assessment, International Journal of Hygiene and Environmental Health 2010, March 26, 303.
- [18] Sitzenfrei R., Möderl M., Rauch W., Automatic generation of water distribution systems based on GIS data, Environmental Modelling & Software 2013, 47, 138-147 (journal homepage: www.elsevier.com/locate/envsoft).

- [19] Vairavamoorthy K., Jimin Y., Harshal M. Galgale, Sunil D. Gorantiwar, IRA-WDS: A GIS-based risk analysis tool for water distribution systems, *Environmental Modelling & Software* 2007, 22, 951-965 (journal homepage: www.elsevier.com/locate/envsoft).
- [20] Miszta-Kruk K., Kwietniewski M., Zakres wdrożenia GIS w przedsiębiorstwach wodociągów i kanalizacji w Polsce, *Mat. konferencyjne „GIS modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi”*, Wyd. PZITS, Warszawa 2007.
- [21] Góra W., Klawczyńska A., Problemy wdrożeniowe systemów informacji przestrzennej, *Raport Informatyka w firmach wod-kan. Wodociągi i Kanalizacja* 2008, 4(50), 27-29.
- [22] Rossman LA. EPANET 2. Users Manual [Internet] 2000
- [23] Zmarzły M., Identification of Water Distribution Systems Using EPANET, MATLAB, and Genetic Algorithms, *Zeszyty Naukowe „Elektryka”* 2010, 67-68.
- [24] Litwin L., Myrda G., *Systemy Informacji Geograficznej. Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT, LIS, HELION*, Gliwice 2010.
- [25] Kwietniewski M., Kierunki rozwoju zarządzania eksploatacją sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, *Mat. konferencyjne „GIS modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi”*, Wyd. PZITS, Warszawa 2005.
- [26] Bielecka E., *Systemy Informacji Geograficznej - teoria i zastosowania*, Wyd. PJWSTK, Warszawa 2006.
- [27] Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., *GIS. Obszary zastosowań*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2008.
- [28] Foster J.A., McDonald A.T., Assessing pollution risks to water supply intakes using geographical information systems (GIS), *Environmental Modelling & Software* 2000, 15, 225-234 (www.elsevier.com/locate/envsoft).

Geographical Information System (GIS) in the Facilities Management Waterworks and Sewer

To solve practical tasks that are generated during the design and operation of the network waterworks used for spatial information systems (GIS). GIS systems are applied in many fields. From here take the diversity of terms defining the geographical information processing systems, as well as geographical database information system, data system, a system of spatial information. Despite the diversity of purposes of processing, all GIS are the starting point of the data relating to the location of the geographic features. The purpose of this article is to provide basic knowledge about spatial information system GIS in the field of water and waste water, especially with regard to their maintenance and operation. GIS can assist in the development of modernization measures, monitoring and modelling of water supply network and sewerage.

Keywords: Geographic Information System (GIS), water supply, management