

**Beata KOWALSKA<sup>1</sup>, Dariusz KOWALSKI<sup>1</sup>,  
Marian KWIETNIEWSKI<sup>2</sup>, Katarzyna MISZTA-KRUK<sup>2</sup>**

1. Wydział Inżynierii Środowiska  
Politechnika Lubelska

2. Wydział Inżynierii Środowiska  
Politechnika Warszawska

## **OCENA AWARYJNOŚCI SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY Z WYKORZYSTANIEM BAZY DANYCH TYPU GIS**

### **UNRELIABILITY ASSESSMENT OF WATER SUPPLY DISTRIBUTION SYSTEM WITH APPLICATION OF GIS**

*The paper presents the elaboration of aims in the water networks modernisation subject, which have to be obtained basing on networks reliability estimation. As the main source of data for that analysis authors propose the application of data bases like GIS. The imperfections of existed GIS systems in water companies are included in the paper. They are illustrated base on the example of the chosen water network. The authors present also the proposal of the identification of the investigation objects, which should be present in GIS data base to assessment their reliability estimation for the network rehabilitation purposes.*

## **1. Wprowadzenie**

Problem oceny niezawodności funkcjonowania systemów dystrybucji wody a tym samym ich awaryjności był i jest nadal ważny i interesujący zarówno dla operatorów jak i badaczy tych systemów. Awaryjność systemów dystrybucji wody jest przedmiotem badań prowadzonych w Polsce od ponad 40 lat [6, 16]. Publikowane są również od wielu lat wyniki podobnych badań prowadzonych w innych krajach [1, 2, 7, 23]. Ostatnie badania dotyczące doboru technologii odnowy przewodów wodociągowych pokazują, że wysoka awaryjność (różnie opisywana przez eksploatorów sieci wodociągowych), jest traktowana jako główne kryterium podejmowania wstępnych decyzji o odnowie tych przewodów. Z analizy dostępnych źródeł literaturowych jak również potrzeb operatorów sieci wynikają dwa zasadnicze cele badań awaryjności:

a – ocena wpływu różnych czynników na niezawodność lub też zawodność (awaryjność) sieci i jej elementów pozwalająca także na porównanie różnych obiektów badawczych pod kątem awaryjności (przewody ułożone w różnych warunkach gruntowych, wykonane z różnych materiałów, w różnym okresie eksploatacji, realizujących różne funkcje, złącza, armatura itp.)

b – wstępna ocena stanu technicznego obiektów w celu ułatwienia ich kwalifikacji do odnowy.

Szczególnie w drugim przypadku, wyniki badań awaryjności mają bezpośrednie zastosowanie praktyczne, ponieważ odnowa to najbardziej radykalny sposób zapobiegania wtórnemu zanieczyszczeniu wody sieciowej.

Aby wyniki oceny awaryjności mogły być wykorzystane w procesie podejmowania decyzji o odnowie muszą być rozwiązane dwa problemy: właściwa identyfikacja obiektu oraz adekwatny do potrzeb opis zdarzenia awarii tego obiektu. Problemy te łatwo rozwiązać przy wykorzystaniu baz danych typu GIS.

## 2. Możliwości GIS w zarządzaniu systemami dystrybucji wody

Trudno przecenić możliwości jakie stwarzają bazy danych typu GIS i współpracujące z nimi inne narzędzia informatyczne w procesie zarządzania majątkiem przedsiębiorstw wodociągowych. GIS jest przy tym wspólną platformą dla tych narzędzi. Generalnie można stwierdzić, że GIS istotnie wspomaga zarządzanie majątkiem, będąc jednocześnie świadectwem nowoczesności i innowacyjności przedsiębiorstw wodociągów i kanalizacji. Z ostatnich badań wynika, że GIS został już wdrożony we wszystkich polskich dużych przedsiębiorstwach wodociągowych. Pozytywne na ogół doświadczenia wynikające z tych wdrożeń jak również uważne śledzenie rozwoju aplikacji GIS wzbudzają zainteresowanie systemami informacji przestrzennej również w mniejszych przedsiębiorstwach wodociągowych [8, 18].

Wykorzystanie GIS w zarządzaniu systemami dystrybucji wody odnosi się do wspomaganie procesów inwestycyjnych, modernizacyjnych oraz użytkowania i eksploatacji tych systemów. Głównym zadaniem GIS jest w tych obszarach ewidencja obiektów i sieci wodociągowych, której wyniki są podstawą innych działań. Dalsze ważne zadania to: ułatwienie budowy i współpraca z modelem numerycznym sieci, wspomaganie systemu monitoringu sieci. Istotnym obszarem zastosowań w procesie eksploatacji jest oczywiście ocena niezawodności i awaryjności obiektów i sieci wodociągowych.

System typu GIS w świetle potrzeb w obszarze wodociągów należy traktować jako technologię, na którą składa się odpowiednie oprogramowanie (*software*), sprzęt (*hardware*), dane oraz użytkownicy i w ograniczonym zakresie struktura przedsiębiorstwa.

Zastosowanie systemów map numerycznych w przedsiębiorstwach eksploatujących wodociągi i kanalizacje pozwala na istotną poprawę efektywności prowadzonych działań, a w efekcie do konkretnych oszczędności i poprawy jakości świadczonych przez nie usług. Łatwość aktualizacji, uzupełniania informacji o dane innych mediów oraz zagospodarowania terenu czy wreszcie łatwość wymiany aktualnych danych pomiędzy przedsiębiorstwami branżowymi, a ośrodkami geodezyjnymi stanowią istotne zalety w porównaniu z tradycyjną dokumentacją techniczną i geodezyjną.

Specyfika przedsiębiorstw eksploatujących infrastrukturę sieciową stawia jednak dodatkowe wymagania GIS. Plany sieci obok spełnienia celów dokumentacyjnych i ewidencyjnych powinny udostępniać, również funkcje i informacje specjalistyczne, do których zaliczyć można przykładowo: wyłączenia z zasilania odcinków sieci wodociągowej, miejsca wystąpienia uszkodzeń sieci, miejsca prowadzonych prac, dane na temat odbiorców i integrację z systemami zbytu, modelowanie sieci, gromadzenie, przetwarzanie

nie i prezentacja wyników monitoringu obiektów i sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, zarządzanie zasilaniem sieci, integrację z systemami środków trwałych.

Oczywiście informacje i funkcje te nie są przedmiotem zainteresowania systemów geodezyjnych, mają natomiast zasadnicze znaczenie dla efektywnej pracy przedsiębiorstwa eksploatującego sieci wodociągową i kanalizacyjną. Istotny obszar zainteresowania przedsiębiorstw sieciowych to również zarządzanie eksploatacją infrastruktury – awarie, przeglądy, nowe inwestycje, wymiany i konserwacje. Wszystkie te operacje dotyczą konkretnych obiektów, które są ewidencjonowane na planach w bazie GIS. Obiektami mogą być zarówno odcinki sieci, jak i zasowy, studnie, odwodnienia czy odpowietrzenia.

### 3. Wykorzystanie GIS do oceny awaryjności sieci wodociągowych w świetle danych literaturowych

Dostępna literatura przedmiotu koncentruje się głównie na doniesieniach o szerokich możliwościach GIS w planowaniu, rozwoju i generalnie w zarządzaniu infrastrukturą wodociągową i kanalizacyjną [5, 10, 15, 20, 21, 22, 25, 26]

W pracy [14] zwraca się ogólnie uwagę na to, że w celu uzyskania dokładnej oceny awaryjności systemu dystrybucji wody, model danych ujęty w GIS wymaga nie tylko wiedzy dotyczącej odcinków przewodów ale również wskazania lokalizacji uszkodzenia. Gromadzenie takich informacji pozwala bowiem użytkownikowi śledzić zmiany awaryjności danego odcinka zarówno wg danych opisowych jak i wg, danych przestrzennych.

GIS jest wykorzystywany bardzo często do przestrzennej analizy ryzyka układów sieciowych głównie transportujących gaz i inne nośniki energii. Metodę takiej analizy przedstawiono w pracy [13], gdzie autor podkreśla możliwość jej stosowania również w odniesieniu do sieci wodociągowych. Podobnie często wykorzystuje się GIS do ustalania priorytetów w zakresie odnowy (wymiany, renowacji, rekonstrukcji) infrastruktury wodociągowej. Szczególnie przydatne są tutaj analizy przestrzenne wykorzystujące powiązania danych opisowych z lokalizacją obiektów planowanych do odnowy [17].

Bardzo niewiele jest prac na temat wykorzystania GIS do oceny awaryjności i niezawodności systemów dystrybucji wody. Publikowane są na ogół informacje o możliwości, a nawet konieczności gromadzenia w GIS danych o awariach, pracach na sieci, zdjęć i filmów video z przeglądu rurociągów itp. Tylko w nielicznych pracach pojawiają się doniesienia o wykorzystaniu bazy typu GIS do analizy awaryjności wybranych sieci wodociągowych.

Najczęściej wykorzystuje się GIS jako narzędzie umożliwiające lokalizację miejsc występowania awarii. Stanowi to podstawę do dalszych analiz związanych z funkcjonowaniem i eksploatacją sieci np. szacowanie intensywności uszkodzeń przewodów pracujących w danym obszarze miasta [11].

Analizę awaryjności sieci przeprowadzono w pracy [27] na przykładzie fragmentu sieci wodociągowej w Sztokholmie w dzielnicy Skärholmen. Wykorzystano w tym celu program do prognozowania awaryjności sieci dystrybucji wody *CARE-W Failure Forecasting Tool* [3] współpracujący z GIS. Przygotowanie danych w GIS do *CARE-W* polegało przede wszystkim na opracowaniu pliku określającego kształt sieci oraz pliku z miejscami uszkodzeń (plik zawiera datę uszkodzenia, jego przyczynę, informacje na temat metody naprawy/wymiany, datę naprawy itp.), a następnie powiązaniu ich ze sobą. Tak przygotowane dane dotyczące uszkodzeń powinny być zlokalizowane przestrzennie i przyporządkowane odpowiednim przewodom, ponieważ w bazie GIS obydwa pliki

stanowią odrębne warstwy. Wykorzystując dane z bazy GIS przeprowadzone zostały analizy częstości uszkodzeń przewodów, w tym rur, zasuw, kształtek i przyłączy (uszk/100km/rok). W wyniku obliczeń uzyskano zakres częstości uszkodzeń w granicach od 0 do 30 na 100 km i rok przy średniej z lat 1996 -2000, 42/100km/rok (0,42 uszk/km/rok).

Pomimo uzyskania zamierzonych wyników z modelu prognostycznego, w pracy [27] wskazano jednocześnie na występujące nadal problemy z wykorzystaniem GIS do zarządzania systemem dystrybucji wody, a w szczególności do oceny awaryjności obiektów wodociągowych. Zaobserwowano wiele niedociągnięć w bazie. Jednym z głównych problemów jest brak relacji pomiędzy węzłami i odcinkami przewodów. Obiekty te są gromadzone w dwóch oddzielnych zbiorach, które nie współpracują odpowiednio ze sobą. Innym problemem są braki w danych oraz niewłaściwe powiązanie rekordów z danymi. Często także stare dane opisujące obiekty są zastępowane nowymi, po ich odnowie lub wymianie bez pozostawienia śladu historii ich funkcjonowania. Uniemożliwia to śledzenie zmian charakterystyki obiektów.

Generalnie brak jest publikowanych wskazówek i doświadczeń dotyczących identyfikacji obiektów oraz zakresu danych opisujących zdarzenia awaryjne i umożliwiających ocenę awaryjności, a w rezultacie wstępną ocenę stanu technicznego obiektów sieciowych.

#### 4. Ocena awaryjności obiektu na podstawie dotychczasowych zasobów danych

W tym rozdziale poddano ocenie obiekt badawczy zidentyfikowany możliwie najdokładniej w oparciu o zasoby danych dostępne w przedsiębiorstwie nie posiadającym bazy danych GIS. Podobna sytuacja może wystąpić też w przedsiębiorstwach, które wdrożyły bazę GIS ale w bazie tej nie zostały odpowiednio zidentyfikowane obiekty lub też nie określono dla nich właściwego zakresu danych niezbędnych do oceny awaryjności. Przedmiotem badań była sieć wodociągowa w mieście liczącym ok. 50000 mieszkańców, dla której zgromadzono dane o awaryjności z okresu 5 lat (2006 – 2010). Problemy jakie napotkano w procesie zbierania danych dotyczyły w szczególności braku możliwości ustalenia:

- dla dużej części obiektów – roku oddania do eksploatacji (wieku),
- dla części obiektów - materiału przewodu,
- dla dużej części obiektów - lokalizacji miejsc awarii,
- dla większości obiektów – dokładnych przyczyn uszkodzeń,
- dla większości obiektów – charakterystyki warunków gruntowo-wodnych,
- dla większości obiektów – rodzaju nawierzchni,
- liczby zasuw i hydrantów w sieci wodociągowej.

Stąd też konieczne były uproszczenia jak np. zmniejszenie analizowanych okresów wiekowych obiektów, łączenie danych z dwóch i więcej próbek, orientacyjne określanie liczby zasuw i hydrantów, utworzenie odrębnych podzbiorów danych do konkretnych analiz (różne licznosci danych w podzbiórach, które nie zawsze bilansowały zbiory danych nadrzędnych). Przykładową ocenę awaryjności/niezawodności przeprowadzono dla jednego z obiektów tj. „przewód wodociągowy w ul. A” (rys. 1), dla którego uzyskano najwięcej danych. Ze względu na bardzo małą liczbę danych, oszacowane charakterystyki awaryjności/niezawodności obiektu, należy traktować jedynie informacyjnie.

Nazwa obiektu: przewód wodociągowy

Lokalizacja: ulica A

Długość: 1705 m

Materiał: żeliwo szare

Średnica: DN150

Rok oddania do eksploatacji: 1964

Rodzaj połączeń: kielichowe tradycyjne



Rys. 1. Lokalizacja obiektu „przewód wodociągowy w ul. A” [<http://maps.google.pl/>]

Fig. 1 Location of the object „water pipeline in A street”

Do oceny niezawodności zastosowano pięć typowych parametrów, których definicje i opis można znaleźć w pracach [12, 24]. Uzyskane wartości tych parametrów podano poniżej:

1. średnia jednostkowa intensywność uszkodzeń – 0,33 uszk/km/rok,
2. średni czas pracy między uszkodzeniami – 450 d,
3. średni czas odnowy – 9 h,
4. średnia intensywność odnowy – 2,7 d<sup>-1</sup>,
5. wskaźnik gotowości – 0,9992.

Wartości powyższych wskaźników wskazują na zadowalającą ogólnie ocenę niezawodności rozważanego obiektu. Odnosząc jednakże otrzymaną intensywność uszkodzeń do klasyfikacji przewodów wodociągowych pod względem awaryjności/niezawodności proponowanej w pracy [19] należy stwierdzić, że badany przewód kwalifikuje się do kategorii średniej awaryjności/niezawodności ( $0,1 < \text{intensywność uszkodzeń} \leq 0,5$  uszk/km/rok). Ocena powyższa nie może być jednak wiążąca ponieważ dla badanego obiektu nie było możliwe zdefiniowanie wszystkich czynników opisujących jednoznacznie warunki jego funkcjonowania i eksploatacji jak np. lokalizacja uszkodzeń, warunki gruntowo-wodne, rodzaj nawierzchni, przyczyny uszkodzeń. Krótko ujmując, obiekt nie został dokładnie zidentyfikowany.

## 5. Propozycje identyfikacji obiektów na potrzeby oceny awaryjności

Propozycje dotyczące zakresu danych niezbędnych do racjonalnej identyfikacji obiektów na potrzeby oceny ich awaryjności/niezawodności sprowadzają się do minimalnego zbioru parametrów technicznych (tab. 1) [9, 18]. Zakres danych tekstowych i przestrzennych opisujących zdarzenie awarii jakie należy umieścić w bazie GIS powinien obejmować co najmniej:

- lokalizację uszkodzenia,
- postać uszkodzenia – wg słownika uszkodzeń,
- przyczynę uszkodzenia – wg słownika przyczyn,
- skutki uszkodzenia – wg słownika skutków,
- straty wynikające z zaistniałej awarii - wg słownika strat np. straty finansowe,
- data i godzina wystąpienia oraz czas trwania zdarzenia (całkowity czas uszkodzenia, czas właściwej naprawy).

Ten zestaw danych powinien umożliwić obliczenie wartości podstawowych parametrów niezawodności danego obiektu (p. 4).

Tab. 1. Przykładowa identyfikacja głównych obiektów sieci wodociągowej

Tab. 1. An example of the identification of main water network's objects

Lp	Podstawowe cechy identyfikujące obiekt
1	Typ obiektu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>odcinek przewodu (odcinek rury+złącza+kształtki) - rozdzielczy, magistralny, przesyłowy;</i></li> <li>• <i>hydrant - podziemny, nadziemny, typ fabryczny;</i></li> <li>• <i>zasuwa –rodzaj;</i></li> <li>• <i>przepustnica – rodzaj;</i></li> <li>• <i>przepływomierz – rodzaj;</i></li> <li>• <i>wodomierz - rodzaj;</i></li> <li>• <i>odwodnienie – do kanalizacji, rowu, gruntu itp.;</i></li> <li>• <i>odpowietrzenie – rodzaj;</i></li> <li>• <i>przyłącze– domowe, przemysłowe, usługowe;</i></li> </ul>
2	Lokalizacja obiektu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ulica/ulice;</i></li> <li>• <i>odcinek - węzły ograniczające z współrzędnymi i rządymi osi odcinka;</i></li> <li>• <i>rzędna terenu w miejscu obiektu (węzłach ograniczających odcinek);</i></li> <li>• <i>elementy wyposażenia technicznego - w komorze, w studzience, rzędna osi przewodu;</i></li> <li>• <i>przyłącze – adres, rzędna terenu i osi przewodu w miejscu podłączenia</i></li> </ul>

Lp	Podstawowe cechy identyfikujące obiekt
3	Nr identyfikacyjny (inventaryzacyjny) obiektu
4	Materiał
5	Średnica
6	Długość
7	Rok oddania do eksploatacji
8	Typ połączeń
9	Ciśnienie
10	Warunki gruntowo-wodne ( <i>grunt suchy, nawodniony; zwarty, sypki</i> itp.) w miejscu zainstalowania obiektu
11	Nawierzchnia terenu w miejscu zainstalowania obiektu – <i>utwardzona (asfalt, kostka, beton, inne), nieutwardzona</i>
12	Status prawny terenu, pod którym znajduje się obiekt (prywatny, publiczny)

## 6. Podsumowanie

Obecne zasoby danych dostępnych w przedsiębiorstwach nie dają możliwości jednoznacznej identyfikacji obiektów sieci wodociągowych ani też możliwości wyznaczenia dokładnych wartości parametrów niezawodności. Taki stan rzeczy powoduje, że uzyskiwanie na ich podstawie oceny awaryjności/niezawodności tych obiektów są mało dokładne. W rezultacie wstępne oceny techniczne tych obiektów mogą być tylko przybliżone co utrudnia podejmowanie decyzji o odnowie przewodów. Istnieje zatem potrzeba szczegółowej analizy dotychczasowych założeń i zasad wyodrębniania obiektów w bazach danych typu GIS. Rozważania zaprezentowane w niniejszej pracy wychodzą naprzeciw tym potrzebom.

*Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego Nr N R14 0006 10 nt. „Opracowanie kompleksowej metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców” w latach 2010-2013.*

## Bibliografia

- [1] Buckler M, Sattler R.: *DVGW-Schadenstatistik Wasser, erste Auswertung und Umsetzung*. GWF Wasser-Abwasser, Nr 13, 1999, s. 48-53
- [2] Bjorklund I. : KWH Pipe Ltd, Naumansvagen 17, SE-129 38 Hogersten, Sweden, 1999, *Materiały własne*
- [3] CARE-W, : *Decision Support Tools for Sustainable Water Network Management*, official, 2003
- [4] website of CARE-W, <http://care-w.unife.it/intro.html>, 2005
- [5] Gonzalez F.C.: *Managing Anomalies and Customer Care with a GIS*, Water Supply – A Review Journal of the IWA “Applying GIS technologies in Water Utilities: A Challenge and a Necessity”, Turin, Vol. 18, No 4 2000, pp.62-77
- [6] Hoffman Z.: Pipeline damage - service and repair cost, *Water and Sewage Works*, No 2/1970, 60-61
- [7] Hotłoś H.: Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacji sieci wodociągowych. *Rozprawa habilitacyjna*. Politechnika Wrocławska. Wrocław, 2007.
- [8] Kwietniewski M., Kowalska B., Kowalski D., Wróbel K.: Koncepcja wdrożenia ZSZIT w wybranym przedsiębiorstwie gospodarki komunalnej. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 2012, 4, 171-175
- [9] Kwietniewski M. (Red.), Tłoczek M.(Red.), Wysocki L. (Red.): *Zasady doboru rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych*. *Wyd. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”*, Bydgoszcz, 2011
- [10] Kwietniewski M.: *GIS w wodociągach i kanalizacji*, *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa 2008
- [11] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Piotrowska A.: Wpływ temperatury wody w sieci wodociągowej na jej awaryjność w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności. *Czasopismo Techniczne I – Ś/2011 Z. I rok. 108, s. 113-129*. *Wyd. Politechniki Krakowskiej*. Kraków 2011
- [12] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczewicz H.: *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, *Wyd. Arkady*, Warszawa 1993
- [13] Magelky, R.: *Assessing the Risk of Water Utility Pipeline Failures Using Spatial Risk Analysis*. *Pipelines 2009, ASCE*, San Diego, Ca.
- [14] Michael, G. and Zhang, J.: *Simplified GIS for Water Pipeline Management*. *Pipelines 2009, ASCE*, San Diego, Ca.
- [15] Mikołajski St., Osiński A., Bratuś K., Shellenberger M.: *Rozwój aplikacji GIS dla sieci wodociągowej i kanalizacyjnej w Gdańsku i Sopocie*. *Mat. Konf. nt. GIS, modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi*. *Zarząd Główny Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych*; Warszawa 2007; ss 43-59.



- [16] Petrozolin W.: Uszkodzenia sieci wodociągowej w Warszawie, *Przegląd Informacyjny IGK*, nr 1/1971
- [17] Pickard, B. D. and Levine, A.D.: Development of a GIS based infrastructure replacement prioritization system; a case study, *8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium*, ASCE, Cincinnati, Ohio, 2006.
- [18] Program pt. Przygotowanie założeń i wdrożenie Zintegrowanego Systemu Zarządzania Infrastrukturą Techniczną Przedsiębiorstwa. Realizowany w MPWiK „Wodociągi Puławskie” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Działanie 1.4 , 2011-2012, <http://www.mpwik.pulawy.pl/>
- [19] Rak J., Kwietniewski M.: Bezpieczeństwo i zagrożenia systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów 2011.
- [20] Shamsi U.M.: GIS Tools for Water, Wastewater, and Stormwater Systems, ASCE, 2002.
- [21] Shamsi U.M. 2005: GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems, *Taylor and Francis*, Boca Raton, London, New York
- [22] Sherer Phebey T.: Geographical Information System, *J.Water SRT - AQUA*, vo. 44, no 3,1995, pp. 118-124,
- [23] Schmidt D.: Zulassige Schadensrate In Wasserrohrnetzen aus Sicht der Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit am Beispiel der Versorgungsgebietes Erfurt. *GWF Wasser-Abwasser*, Nr 1, 1999, s. 45-50
- [24] Wieczysty A.: Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych Cz. I i II, Teoria niezawodności i jej zastosowania, *Skrypt Politechniki Krakowskiej*, Kraków 1990
- [25] Vemulapally R.: Development of Standard Geodatabase Model and its Applications for Municipal Water and Sewer Infrastructure, *Master of Science in Civil Engineering, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*. Blacksburg, Virginia 2010.
- [26] [www.esri.com](http://www.esri.com), 2012
- [27] Zhang T.: Application of GIS and CARE-W Systems on Water Distribution Networks, Skärholmen,. *Praca powstała w ramach International Master Programme of Environmental Engineering & Sustainable Infrastructure*. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2006.

