

**Piotr TOMASIK**

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

## ZASTOSOWANIE MODELI DOKŁADNYCH SIECI DO DETEKCJI I LOKALIZACJI WYCIEKÓW\*

### Słowa kluczowe

Odległość euklidesowa, miara podobieństwa, model epanet.

### Streszczenie

W referacie opisano metodę wykorzystującą dokładne modele sieci wodociągowej do detekcji i lokalizacji wycieków. Metoda ta bazuje na prostej mierze podobieństwa pomiędzy rzeczywistymi i modelowymi danymi o przepływach w sieci wodociągowej.

### Wprowadzenie

Istniejące sieci wodociągowe stanowią złożone układy licznych rur i połączeń, których celem jest zapewnienie odbiorcy stałego dostępu do bieżącej wody i odpowiedniego ciśnienia na wyjściu. Ze względu na skomplikowany charakter tych układów oraz ich rozmieszczenie pod powierzchnią ziemi pojawiają się trudności z wykrywaniem i lokalizowaniem pojawiających się wycieków, zarówno tych wynikających z normalnej eksploatacji, jak i powstałych w wyni-

---

\* Badania finansowane częściowo ze środków projektu POIG 01.04.00-24-027 pt. „Zintegrowany, inteligentny system monitorowania i zarządzania siecią wodociągów na terenie działalności PWiK Sp. z o.o. w Rybniku” oraz częściowo ze środków przeznaczonych na badania statutowe w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

ku sytuacji awaryjnych. Powstające wycieki często mają charakter nieobjawiający się zewnętrznie przez długi czas ich występowania. Prowadzi to do oczywistych strat finansowych przedsiębiorstw wodociągowych. Jeżeli w sieci pojawi się wyciek, to bardzo istotny jest czas jego wykrycia (mniejsze straty wody), jak i przybliżone wskazanie potencjalnego obszaru, na którym się on pojawił, co decyduje o szybkości i sprawności naprawy (wysłanie ekipy naprawczej i odpowiedniego sprzętu do usunięcia awarii). Podczas badań prowadzonych przez zespoły z Politechniki Śląskiej i przedsiębiorstwa wodociągowego PWiK Rybnik [3] w ramach projektu dotyczącego budowy systemu diagnostycznego do detekcji i lokalizacji wycieków opracowano wiele metod przybliżonych bazujących na znanych algorytmach z zakresu sztucznej inteligencji, które zostaną wykorzystane do budowy tego systemu w fazie wdrożeniowej projektu. W trakcie prowadzonych badań została potwierdzona skuteczność ich działania dla rozpatrywanych stref. Opisana w referacie metoda służy do detekcji i lokalizacji wycieków w oparciu o dokładny model sieci w środowisku epanet [1] (odpowiedni dla każdej ze stref). Model sieci dla rozpatrywanej dzielnicy został przygotowany w oparciu o dane systemu GIS przedsiębiorstwa PWiK Rybnik oraz został skalibrowany z wykorzystaniem rzeczywistych danych o rozbiorach w dzielnicy (dane księgowo) i pomiarów z zainstalowanych na sieci przepływomierzy. W referacie przedstawiono przykłady jej zastosowania zarówno dla danych symulacyjnych, jak i rzeczywistych.

## 1. Metoda detekcji wycieków

Metoda detekcji wycieków z zastosowaniem modelu epanet bazuje na wyznaczeniu różnicy wartości pomiędzy przepływami wyznaczonymi z modelu dla stanu bez wycieków oraz przepływami z rzeczywistych przepływomierzy. Wyznaczona różnica pomiędzy tymi parametrami informuje nas o wystąpieniu wycieku oraz o jego przybliżonej wielkości. W celu właściwego rozpoznania, czy wyciek rzeczywiście wystąpił konieczne jest przyjęcie pewnego progu pewności wystąpienia wycieku. Można go określić np. na podstawie analizy danych archiwalnych poprzez określenie odchylenia standardowego chwilowego zużycia wody w sieci od przyjętego bazowego profilu zużycia obowiązującego w danej strefie. Im wyznaczona różnica wartości dla danej pary porównywanych przepływomierzy (wirtualny i rzeczywisty) jest większa, tym większe jest prawdopodobieństwo, że wyciek wystąpił w pobliżu danego przepływomierza. Dodatkowo, porównując wartości przepływów na przepływomierzach wejściowych do strefy można otrzymać przybliżoną informację o wielkości powstałego wycieku jako różnicę wskazań na tych przepływomierzach (rzeczywisty i wirtualny).

## 2. Metoda detekcji wycieków

W przypadku lokalizacji, podobnie jak w przypadku detekcji, konieczne jest określenie wartości przepływów dla wirtualnych przepływomierzy, których położenie w modelu sieci jest uwarunkowane rozmieszczeniem przepływomierzy rzeczywistych.

Opracowana metoda bazuje na wyznaczeniu wartości odległości euklidesowej pomiędzy mierzonymi i generowanymi z modelu wartościami przepływów w danej chwili (1), a następnie na określenie wartości podobieństwa pomiędzy wskazaniami rzeczywistymi i modelowymi (2) [2].

$$\Delta p_j = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [(Pr_{ij} - Pm_{ij})^2]} \quad (1)$$

$$\prod p_j = \frac{1}{1 + \Delta p_j} \quad (2)$$

gdzie:

- $\Delta p$  – średnia odległość danych modelowych od danych rzeczywistych,
- $\prod p$  – wartość podobieństwa pomiędzy przepływami modelowymi i rzeczywistymi,
- $Pr$  – wartość przepływu z przepływomierza rzeczywistego,
- $Pm$  – wartość przepływu z przepływomierz wirtualnego,
- $i$  – indeks opisujący liczbę przepływomierzy,
- $j$  – indeks opisujący liczbę obszarów,
- $n$  – liczba przepływomierzy zlokalizowanych w strefie.

Istota metody polega na wyznaczeniu modelowych wartości przepływów dla stanu z wprowadzonym wyciekiem w strefie. Podczas każdej symulacji rozpatruje się jedno miejsce występowania wycieku. Wielkość generowanego wycieku jest określona podczas jego detekcji jako różnica wartości przepływu na wejściu do strefy dla stanu bez wycieku wyznaczonego z modelu z przepływem rzeczywistym. Liczba potencjalnych rozpatrywanych miejsc lokalizacji wycieku zależy od wymaganego stopnia dokładności wskazania lokalizacji wycieku, czasu na wyznaczenie lokalizacji oraz złożoności sieci w danej strefie i przyjętego podziału na obszary.

W prowadzonych badaniach bazowano na strefach podzielonych na obszary. Dlatego, aby móc z dokładnością do obszaru określić, gdzie wystąpił wyciek,

należy wygenerować wartości przepływów z wyciekami w sieci co najmniej w jednym miejscu w danym obszarze (najczęściej przyjmując jako miejsce wycieku środek obszaru). Ze względu na kształt obszaru, jego wielkość i złożoność można przyjąć więcej takich punktów kontrolnych w danym obszarze. Generowanie danych sprowadza się wówczas do wyznaczenia wartości przepływów z wprowadzonym we wskazanym miejscu sieci emiterym o zadanej wielkości wycieku (w postaci wirtualnego użytkownika o stałym zużyciu niezależnym od ciśnienia w sieci).

W przypadku zastosowania tego modelu do lokalizacji wycieków wartość większego podobieństwa uśrednionych wskazań z przepływomierzy informuje nas o większej wartości stopnia przekonania, że w danym obszarze wystąpił wyciek.

W przypadku uzyskania wyników, dla których trudno jednoznacznie określić lokalizację wycieku (występowanie obszarów nierozróżnialnych o takich samych lub bardzo zbliżonych wartościach podobieństwa) można zastosować dalsze przeszukiwanie już w zawężonej grupie obszarów (tylko te o najwyższych podobieństwach) dla większej liczby emiterów kontrolnych na dany obszar.

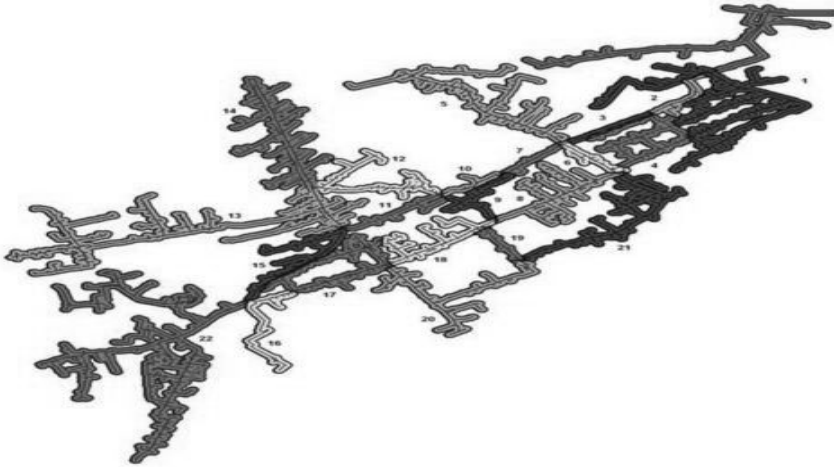
Metoda ta pozwala także na wyznaczenie podobieństw dla wszystkich możliwych lokalizacji wycieku w sieci, dając w wyniku mapę wycieków pozwalającą na lokalizację wycieków bez podziału sieci na obszary. Wadą takiego podejścia jest czas generowania danych. Zastosowanie takiego podejścia jest uzasadnione w przypadku wykorzystania tej informacji jako dodatkowej bez konieczności pozyskania jej w kroku pomiarowym lub w przypadku stosowania obliczeń rozproszonych z wykorzystaniem zaawansowanych technik programowych (obliczenia z wykorzystaniem wielu rdzeni procesora, wykorzystanie technologii obliczeń bazującej na GPU (ang. Graphics Processing Unit)).

Dla zaproponowanej metody przeprowadzono badania na modelu ze strefy Kamień. Lokalizację przeprowadzono w granicach predefiniowanych obszarów (rys. 1). Wyniki dla danych symulacyjnych, tzn. zarówno przepływy spełniające rolę danych pomiarowych uzyskanych na obiekcie rzeczywistym, jak i przepływy modelowe były generowane z zastosowaniem modelu epanet. W ramach tego badania zadano kilka miejsc wycieku zlokalizowanych w różnych obszarach rozpatrywanej sieci (rys. 2). W przypadku lokalizacji wycieków dla danych symulacyjnych zostały osiągnięte dobre rezultaty nawet w przypadku, jeśli baza przykładów wycieków zawierała jedynie dane dotyczące jednego emitery zlokalizowanego w środku obszaru. W przypadku strefy Kamień mamy do czynienia z małą liczbą przepływomierzy zainstalowanych w tej strefie, przez co wykrywalność wycieków w niektórych obszarach może być utrudniona.

W ramach testowania metody przeprowadzono badania także dla danych rzeczywistych. Warunki początkowe dla tego badania były następujące:

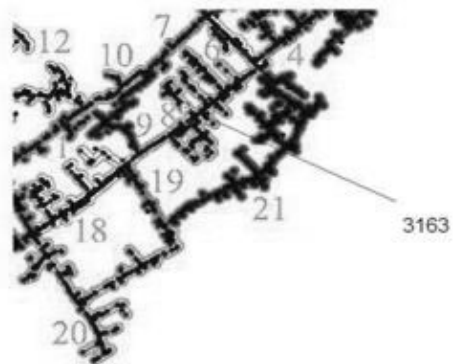
- strefa podzielona na 22 obszary,

- 22 emiterzy kontrolne położone w środkach obszarów,
- 5 przepływomierzy dostępnych w strefie.



Rys. 1. Podział wodociągu w dzielnicy Kamień na predefiniowane obszary

Wyciek	4m <sup>3</sup> /h		3m <sup>3</sup> /h		5m <sup>3</sup> /h	
	Obszar	Emiter	Obszar	Emiter	Obszar	Emiter
	3163	8	3163	8	3163	8
19	0.29	8	0.22	21	0.25	8
18	0.32	21	0.22	8	0.26	19
20	0.32	19	0.24	19	0.31	9
21	0.32	9	0.31	20	0.43	20
8	0.36	20	0.32	18	0.44	18
9	0.41	18	0.32	9	0.45	6
17	0.47	6	0.36	6	0.51	2
6	0.55	2	0.42	2	0.62	4
2	0.61	4	0.45	4	0.67	17
4	0.62	17	0.47	17	0.69	3
5	0.67	3	0.48	5	0.72	1
1	0.67	1	0.48	1	0.73	5
3	0.67	5	0.48	3	0.74	7
7	0.68	7	0.55	7	0.85	10
16	0.69	10	0.61	10	0.97	16
22	0.69	16	0.65	22	1.02	16
10	0.72	22	0.66	16	1.02	11
11	0.85	11	0.76	11	1.2	13
13	0.91	13	0.82	13	1.29	15
15	0.92	15	0.83	15	1.33	12
12	1.16	12	1.07	12	1.69	14
14	1.32	14	1.2	14	1.95	



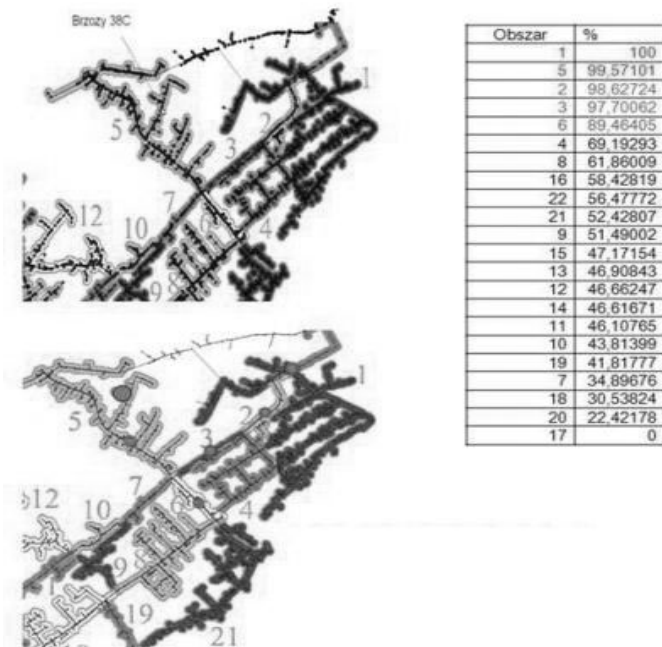
Rys. 2. Wyniki dla wycieku w węźle 3163 (obszar 8) dla różnych wartości wycieku kontrolnego (wyciek symulowany 3 m<sup>3</sup>/h)

W przypadku wycieków rzeczywistych przeprowadzono lokalizację dla wybranej chwili czasowej wystąpienia wycieku w sieci. W przypadku przedstawionych wyników zastosowano normalizację z zakresu od 0 do 100%, gdzie wartość 100% odpowiada najbardziej prawdopodobnemu obszarowi wystąpie-

nia wycieku. Poniżej przedstawiono wyniki dla wybranej lokalizacji wycieku rzeczywistego (rys. 3 i 4).

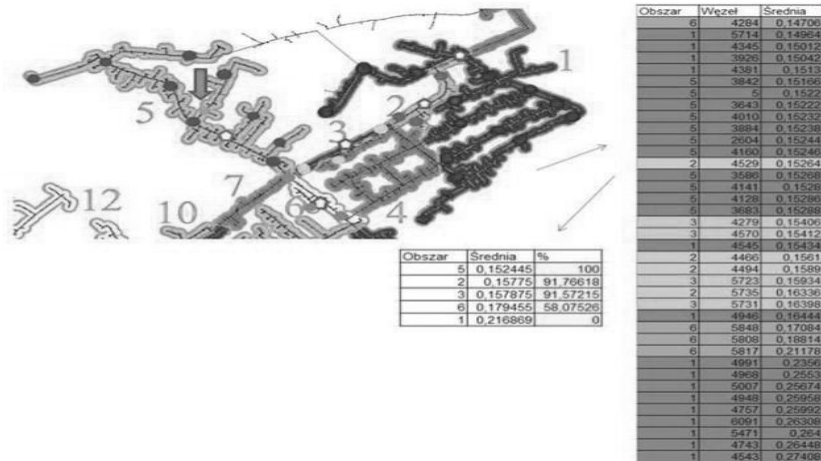


Rys. 3. Dane do lokalizacji wycieku na ulicy Brzozy 38C



Rys. 4. Wyniki lokalizacji wycieku na ulicy Brzozy 38C

Poniżej zestawiono wyniki dla lokalizacji wycieków dla danych rzeczywistych z uwzględnieniem większej liczby emiterów kontrolnych na obszar.



Rys. 5. Wyniki lokalizacji wycieku na ulicy Brzozy 38C dla większej liczby emiterów kontrolnych

Z zestawienia wyników dla rozpatrywanego wycieku na ulicy Brzozy 38C (rys. 5) widać, że nastąpiła pewna poprawa lokalizacji tego wycieku.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdzają skuteczność metody. Dokładność lokalizacji zależy przede wszystkim od poprawnie skalibrowanego modelu oraz liczby przepływomierzy zainstalowanych w sieci. Dokładność lokalizacji w zakresie rozpatrywanej metody można zwiększać, stosując większą liczbę emiterów kontrolnych na obszar, dostosowując ich liczbę w zależności od czasu przeznaczanego na wyznaczenie lokalizacji wycieku (kroku działania systemu diagnostycznego). Zastosowanie opisanej metody w systemie do detekcji i lokalizacji wycieków pozwala na budowę systemu niewrażliwego na zmiany konfiguracji sieci. Do poprawnego działania potrzebne są tylko dane opisujące sieć w danej chwili, które system diagnostyczny może automatycznie aktualizować na bieżąco. Nie ma potrzeby budowy nowych modeli do lokalizacji wycieków w przypadku wystąpienia zmian w konfiguracji sieci. Zmniejszenie liczby dostępnych przepływomierzy (np. w wyniku awarii) podczas działania metody wpłynie tylko na jakość osiągniętego wyniku. Pomimo tego, jak widać z przedstawionych przykładów dla danych rzeczywistych, nawet mała liczba przepływomierzy pozwala na określenie strefy wystąpienia wycieku. Wskazywane ob-

szary leżą zawsze blisko siebie i nie występują przekłamania wskazujące na zupełnie odmienne miejsca wystąpienia wycieku.

### **Podziękowanie**

Opisane badania częściowo zrealizowano w ramach projektu pt. „Zintegrowany inteligentny system monitorowania i zarządzania siecią wodociągów na terenie działalności PWiK sp. z o.o. w Rybniku” współfinansowanego z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Działanie 1.4, finansowanego ze środków EFS. Autorzy dziękują Zarządowi Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Rybniku za aktywne współdziałanie przy realizacji tych zadań.

### **Bibliografia**

1. EPANET2: Drinking Water Research (2008).  
<http://www.epa.gov.../epanet.html>.
2. Tomasiak P. (2006). Metody identyfikacji modeli procesów wolnozmiennych dla potrzeb diagnostyki technicznej, Praca doktorska, Politechnika Śląska: Wydział Mechaniczny Technologiczny, Gliwice.
3. Wyczółkowski R. (2007). System monitorowania i wykrywania awarii sieci wodociągowych, VIII Krajowa Konferencja Diagnostyka Procesów i Systemów, DPS'2007, Słubice, s. 307–315.

Recenzenci:

**Andrzej PIECZYŃSKI**

**Jerzy BRZÓZKA**

### **Applications of accurate models of water supply system for detection and localization of leaks**

#### **Key words**

Euclidean distance, similarity measure, epanet model.

#### **Summary**

The paper describes a method of using accurate models of the water supply system for detecting and locating leaks. This method is based on a simple measure of similarity between real and simulated data on water flows in the water supply.