

Alicja BAŁUT<sup>1</sup>,  
Andrzej URBANIAK<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Inżynierii Środowiska  
Politechnika Poznańska

<sup>2</sup>Inżynierii Informatyki  
Politechnika Poznańska

## KRYTERIUM OCHRONY SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY W PROJEKTOWANIU MONITORINGU SIECI

### SECURITY CRITERION OF WATER DISTRIBUTION NETWORK IN MONITORING SYSTEM DESIGN

*Modelling of water network distribution systems needs to base on actual data from water monitoring systems and GIS data. Methods applied during design works on localization and quantity of measuring points have to respect a number of criteria. One of them is an ability to apply monitoring as a critical element of the early watch system. This article discusses importance and measuring points' localization strategy using TEVA-SPOT as dedicated software. It further presents challenges and limitations of this and similar programs from the perspective of their application by large agglomerations, for various incidents as well as in the case of their integration with modeling software.*

## 1. Wprowadzenie

Systemy zaopatrzenia w wodę, jako elementy infrastruktury krytycznej, są bardzo wrażliwe na pogorszenie się jakości i niezawodności dostaw wody. Sytuacje te bywają wywoływane przez różnorodne czynniki: naturalne, wypadkowe, intencyjne. Podstawą działań w kierunku zapewnienia ochrony systemu dystrybucji wody jest jak najszybsza reakcja, identyfikacja toksyczności danego zagrożenia oraz jego lokalizacja. Podstawę działań operatora sieci w tego typu zdarzeniach stanowi określenie wpływu danego zanieczyszczenia na ilość wody spożytej przez odbiorców oraz kontrola sposobu rozprzestrzeniania się substancji stanowiącej zagrożenie [3].

Z perspektywy zarządzania miejską siecią wodociągową przy użyciu zintegrowanego systemu informatycznego, szczególnie w przypadku dużych aglomeracji, niezbędne jest posiadanie narzędzi służących realizacji powyższych zadań. Możliwości modelowania zagrożeń w danym przedsiębiorstwie oraz uwzględnianie wyników analiz do projektowania systemu monitoringu wzrastają wraz z ciągłym rozwojem dedykowanych narzędzi informatycznych.

Częstym problemem przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych jest brak integracji pomiędzy systemami informacji geograficznej (GIS), modelowania hydraulicznego oraz systemami do zarządzania i eksploatacji sieci (SCADA), ewidencji awarii zarówno dla stacji uzdatniania wody jak i systemu jej dystrybucji do sieci. Okazuje się, że jest to niezwykle ważna kwestia stanowiąca często o powodzeniu wdrożenia zintegrowanego systemu do zarządzania, w procesach podejmowania bieżących decyzji eksploatacyjnych oraz szczególnie cenna w sytuacjach krytycznych. Stąd metody projektowania systemów wczesnego ostrzegania wraz z systemem monitoringu powinny uwzględniać szerokie spectrum wykorzystania danych przez pozostałe funkcjonujące w przedsiębiorstwie jednostki.

## 2. Projektowanie systemu monitorowania z uwzględnieniem sytuacji zagrożenia

Punkty pomiarowe dla systemów monitorowania powinny być ustalane w taki sposób, aby zebrane z nich dane pomiarowe umożliwiały nie tylko bieżący nadzór i kontrolę monitorowanych obiektów, ale także stanowiły dane wejściowe do opracowania modeli matematycznych oraz algorytmów sterowania i zarządzania obiektami.

Dane pomiarowe zbierane z systemów monitorowania powinny być gromadzone w celach zdobywania na ich podstawie odpowiedniej wiedzy o przedsiębiorstwie, jego poszczególnych elementach i realizowanych w nich procesach, przy zastosowaniu odpowiednich metod eksploracji danych [10].

Urządzenia pomiarowe są zwykle instalowane w stacjach poboru i uzdatniania wody, w przepompowniach strefowych i na końcówkach sieci, traktując systemy monitoringu w sposób autonomiczny. Nie uwzględnia się podejścia systemowego, w którym system monitoringu jest elementem zintegrowanego systemu informatycznego, wspomagającego kompleksowe zarządzanie siecią wodociągową, a więc nie tylko bieżący nadzór jej pracy, ale również sterowanie siecią, projektowanie rozwoju sieci, wykrywanie i lokalizację awarii, obliczanie wieku wody, kalibracje modelu hydraulicznego, itp. [16].

Podstawową wadą instalowanych i eksploatowanych obecnie systemów monitoringu jest tworzenie ich jako lokalnych programów, a nie elementów jednolitego systemu informatycznego, co powoduje, że na ogół punkty pomiarowe są lokalizowane w miejscach niewłaściwych z punktu widzenia zarządzania siecią wodociągową. Wprawdzie dane zbierane z takich punktów umożliwiają kontrolę pracy sieci i jej kluczowych obiektów, nie pozwalają jednak na opracowywanie modeli matematycznych i algorytmów sterowania usprawniających zarządzanie tymi obiektami. W rezultacie rejestrowane i archiwizowane dane pomiarowe, po bieżącym ich wykorzystaniu do celów kontrolnych, nie znajdują już dalszego zastosowania. [16].

### 2.1. Znaczenie

Zrozumienie niekorzystnych skutków, jakie niosą ze sobą skażenia w sieciach wodociągowych, za pomocą systemu monitoringu zintegrowanego z bazą danych GIS oraz modelem hydraulicznym umożliwia szereg działań w obszarze ochrony systemów dystrybucji wody, takich jak:

- przeprowadzanie analizy znaczenia i wrażliwości tego typu zdarzeń,
- przeprowadzanie analiz porównawczych oceny ryzyka danego systemu,

- realizacja działań w zakresie nadzoru i monitorowania,
- projektowanie systemów ostrzegawczych przed zanieczyszczeniami,
- przygotowanie i sprawdzenie reakcji układu na wystąpienie różnorodnych zagrożeń, w tym zakłóceń i skażeń,
- wspieranie procesu podejmowania decyzji krytycznych, w sytuacji wystąpienia zagrożeń.

Tego typu zadania stanowią podstawę analiz prowadzonych przy użyciu specjalistycznego oprogramowania. Szerokie jego zastosowanie opisane zostało w pracy [1].

## 2.2. Narzędzia informatyczne

Producentem narzędzi informatycznych umożliwiających wykorzystanie danych z różnych systemów tzn. modelu hydraulicznego oraz danych pomiarów monitoringu przy jednoczesnym zachowaniu integralności tych systemów są: Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (US-EPA) oraz działający od 2002r. oddział Narodowego Centrum Badań Bezpieczeństwa Wewnętrznego w Stanach Zjednoczonych (NHSRC<sup>1</sup>), prowadzący badania naukowe dotyczące m.in. bezpieczeństwa infrastruktury sieciowej [19,20,21,22,23].

Obszary badań naukowych NHSRC koncentrują się w zakresie:

- metod efektywnego wykrywania i usuwania zanieczyszczeń (skażeń) chemicznych, biologicznych oraz substancji radioaktywnych,
- zarządzania i usuwania zagrożenia w systemach zaopatrzenia w wodę oraz oceny konsekwencji wpływu danego zagrożenia,
- odkażania i zarządzania skutkami wydarzeń zagrażających bezpieczeństwu systemów zaopatrzenia w wodę.

Jednym z działań NHSRC jest również wykrywanie i eliminacja luk systemowych, zapobieganie i przygotowanie się do ataków terrorystycznych, przy założeniu minimalizacji wpływu na zdrowie publiczne i uszkodzeń infrastruktury. W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat pracy US-EPA, przy współpracy z NHSRC oraz innymi placówkami badawczymi, udostępniła szereg narzędzi informatycznych służących ochronie środowiska.

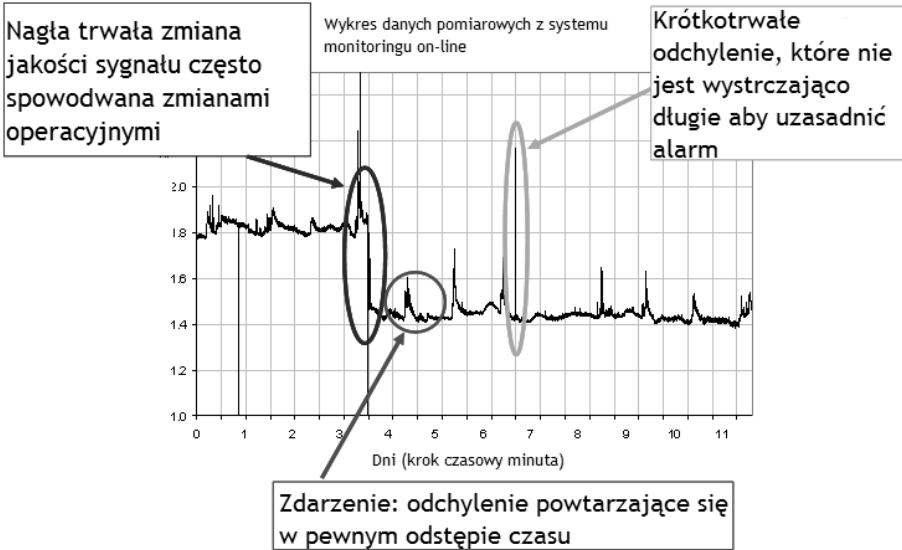
W dalszej części referatu omówione zostaną trzy wybrane programy: CANARY, EPANET-MSX oraz TEVA-SPOT, z wyróżnieniem bardziej szczegółowego opisu oprogramowania TEVA-SPOT oraz jego praktycznego zastosowania w problematyce ochrony systemu dystrybucji wody.

### 2.2.1. CANARY

CANARY jest oprogramowaniem należącym do grupy tzw. narzędzi wczesnego ostrzegania (z ang. EDS – Event Detection System). Głównym przeznaczeniem tego programu powstałego w 2006 r. było wykrywanie skażeń w systemie wodociągowym na tyle szybko, aby umożliwić skuteczne złagodzenie niekorzystnych skutków dla zdrowia publicznego, jak również zmniejszenie strat ekonomicznych. Program wykorzystuje standardowe wartości związane z parametrami jakości wody (pobrane np. z systemu monitoringu) oraz szereg statystycznych i matematycznych algorytmów do wyznaczenia okresów anomalii w danym przedziale czasowym, ograniczając jednocześnie liczbę

<sup>1</sup> NHSRC - National Homeland Security Research Center.

falszywych alarmów pojawiających się w systemie (np. SCADA lub innym dowolnym monitorującym zdarzenia występujące w sieci wodociągowej). Przykładowy wykres analizowanych danych z systemu monitoringu przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Przykładowy zrzut z ekranu programu CANARY [5].

Fig. 1. Example print screen of CANARY program [5].

## 2.2.2. EPANET MSX

Program EPANET jest powszechnie stosowanym narzędziem do modelowania hydraulicznego i jakościowego wody pitnej w systemach dystrybucji wody. Zainstalowana w nim funkcjonalność do wykonywania obliczeń jakościowych ograniczona jest do modelowania transportu i śledzenia prostych substancji chemicznych, takich jak fluorki (stosowany jako znacznik) lub wolny chlor (dezynfektant).

Na stronach US-EPA [23] dostępne jest darmowe rozszerzenie programu EPANET jako EPANET-MSX (z ang. Multi-Species Extension) pozwalające na modelowanie wzajemnych oddziaływań wielu substancji chemicznych. Moduł ten występuje jako samodzielny program wykonujący obliczenia lub jako dodatek funkcjonalny programu EPANET, który programiści mogą wykorzystać do samodzielnego tworzenia lub udoskonalania aplikacji.

EPANET-MSX uwzględnia złożone schematy reakcji pomiędzy substancjami chemicznymi, zarówno w przepływie masy jak i na ściankach przewodu wodociągowego. Użytkownik określa dynamikę reakcji badanego układu za pomocą równań matematycznych. Pozwala to na elastyczne modelowanie szeregu różnorodnych reakcji chemicznych [1,6].

### 2.2.3. TEVA-SPOT

TEVA-SPOT (z ang. Threat Ensemble Vulnerability Assessment-Sensor Placement Optimization Tool) stanowi rezultat badań kilku ostatnich lat nad stosowaną metodyką lokalizacji punktów pomiarowych, przedstawioną w raporcie [14] oraz [7], w których autorzy przeanalizowali 90 publikacji dotyczących metod lokalizacji punktów pomiarowych w procesie projektowania systemu wczesnego ostrzegania.

TEVA-SPOT w 2008 r. został udostępniony jako darmowy program przeznaczony do wykorzystania przez przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne. Umożliwia on modelowanie różnorodnych scenariuszy zdarzeń polegających na rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń w sieci wodociągowej, analizę konsekwencji takich wydarzeń, propozycję lokalizacji punktów pomiarowych oraz bardziej szczegółowe analizy, opisane w dalszej części referatu. Na rys. 2 przedstawiono przykładowy wynik obliczeń

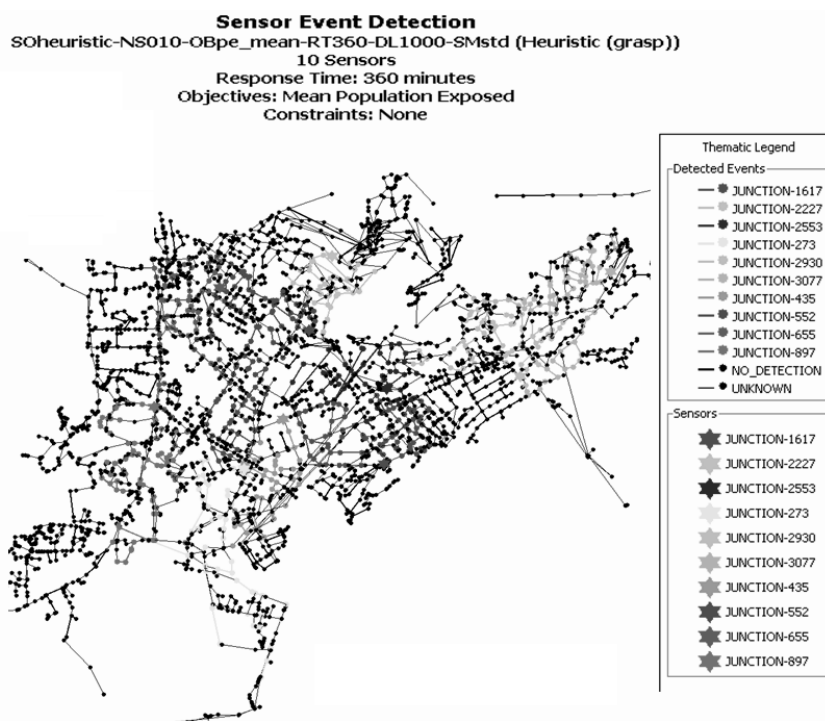


Fig.2. Example print screen of TEVA-SPOT software [4].

programu TEVA-SPOT uzyskany przy założeniach opisanych na rysunku. Do wyznaczenia optymalnego rozwiązania wykorzystano metody heurystyczne uzyskując rozmieszczenie 10 sensorów ze względu na kryterium średniej liczby zagrożonych osób. Kolorami oznaczono obszary oddziaływania poszczególnych sensorów.

### 3. Charakterystyka programu TEVA\_SPOT

Struktura funkcjonalna TEVA-SPOT bazuje na trzech głównych modułach obliczeniowych:

- I moduł, polega na symulacji szeregu różnorodnych incydentów w projektowanym systemie; (Pojedyncze zdarzenie może być zdefiniowane w zależności od rodzaju zanieczyszczenia, wielkości skażenia (dawki substancji), ze wskazaniem punktu wprowadzenia lub miejsca skażenia, zarejestrowanego czasu wprowadzenia lub wykrycia w sieci wodociągowej.)
- II moduł służy określeniu potencjalnych konsekwencji wykrycia zanieczyszczenia na bezpieczeństwo systemu zaopatrzenia w wodę i zdrowia publicznego;
- III moduł wykorzystuje metody optymalizacji wielokryterialnej w celu określenia optymalnej lokalizacji urządzeń pomiarowych przy założeniach minimalizacji kosztów i minimalizacji zagrożeń dla zdrowia publicznego.

Program współdziała z programem EPANET, wykorzystując istniejący model hydrauliczny sieci wodociągowej. Działanie programu TEVA-SPOT oparte jest na analizie prawdopodobieństwa wielu przypadków możliwych zanieczyszczeń (skażeń). Mimo, iż liczba możliwych wariantów ataku terrorystycznego jest prawie nieskończona, poprzez wybór „wystarczająco dużego” zestawu możliwych zdarzeń, możliwa jest ocena ich wpływu na działanie systemu [4,5].

Optymalizacja lokalizacji punktów pomiarowych opiera się na założeniu minimalizacji ryzyka rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia. Możliwe jest rozpatrywanie kilku zdarzeń jednocześnie. W procesie obliczeniowym program wykorzystuje bezpośrednio wyniki obliczeń modelu hydraulicznego z programu EPANET. Dodatkowo wyniki te wspomagają analizę wpływu i skutków zanieczyszczenia dla wybranych lokalizacji i danej pory dnia. Program umożliwia również użytkownikowi przypisywanie ważności danej lokalizacji bądź jej preferencji pomiędzy kilkoma rozpatrywanymi punktami (pod kątem większego prawdopodobieństwa skażenia). Podstawowe informacje wejściowe niezbędne do efektywnego wykorzystania oprogramowania TEVA-SPOT zestawiono w Tabeli 1.

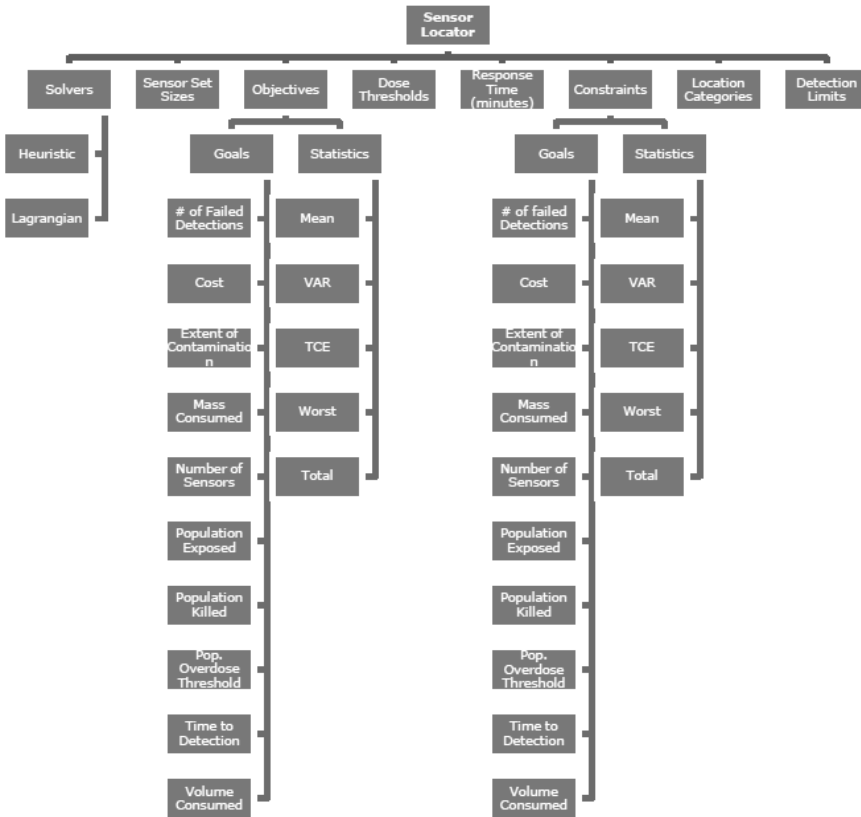
W celu określenia lokalizacji punktów pomiarowych program TEVA-SPOT wykorzystuje tzw. wiedzę ekspercką, metody rankingowania (preferencje rozpatrywanych punktów) oraz metody optymalizacji wielokryterialnej. Na rys. 3 przedstawiono (w wersji angielskiej) strukturę algorytmu wyznaczania lokalizacji punktów pomiarowych. Struktura oprogramowania jest bardzo rozbudowana, zawiera bowiem szereg modułów odpowiedzialnych za realizację poszczególnych funkcji oprogramowania. Wybrane elementy algorytmu omówiono w dalszej części referatu.

Tab. 1. Przykładowe parametry wejściowe dla modułów TEVA-SPOT [4].

Tab. 1. Example input parameters for TEVA-SPOT modules [4].

Moduły programu TEVA-SPOT	Parametr	Wielkości
<b>EPANET</b> Model hydrauliczny – symulacja	Czas prowadzenia symulacji	24 [godz.]
	Scenariusze zdarzeń (określone węzły modelu)	Wszystkie węzły z przypisanym rozbiorem węzłowym
	Czas uwolnienia zagrożenia do sieci (okres)	1 [godz.]
	Szacowana populacja	Rozbiory węzłowe [m <sup>3</sup> /h], [l/s].
	Szybkość wprowadzenia zanieczyszczenia (określonej masy) do sieci	[mg/min]
	Przedział czasowy obliczeń	24 [godz.]
<b>HIA (z ang. Health Impact Analysis)</b> Analiza wpływu na zdrowie	Zanieczyszczenie	Dane określające charakter substancji stanowiącej zagrożenie
<b>TSO to Impacts Analysis</b> Analiza wpływu	Oczekiwania użytkownika: -opóźnienie czasu odpowiedzi -dokładność pomiaru -nazwy podstawowych zbiorów danych	Czas reakcji: [min] Ograniczenia pomiaru danej substancji, toksyny lub organizmu: [mg/l].
<b>Infrastructure Impact Analysis</b> Analiza wpływu na infrastrukturę sieci	Nazwa zanieczyszczenia Zakres stężenia substancji	Jednostki stężenia substancji, toksyn [mg/l] lub organizmów: specjalne wielkości pomiaru, np. [liczba komórek/l].
<b>SP (z ang. Sensor Placement)</b> Lokalizacja punktów pomiarowych	Model (miejsce wprowadzenia zanieczyszczenia)	Rozbiór węzłowy [m <sup>3</sup> /h], [l/s].
	Liczba punktów pomiarowych	1, 5, 10, 15, 20, 25
	Czas reakcji	0, 360, 720 [min]
	Dokładność pomiaru	0, 0.01, 1 [mg/l]
	Algorytm umiejscowienia punktów	heurystyczne
	Kryteria wyboru lokalizacji/Statystyka	Liczba mieszkańców, średnia lub inna wielkość

Dzięki takiemu podejściu możliwe jest porównywanie różnorodnych wariantów, przy zachowaniu dużej elastyczności i krótkiego czasu wykonywanych obliczeń. Autorzy tego rozwiązania podają, że dla większości sieci dużych aglomeracji wybór lokalizacji może zostać określony w czasie kilku sekund do kilku minut. [2,13].



Rys.3. Struktura modułu lokalizacji punktów pomiarowych [7]

Fig. 3. Structure of sensor placement modules [7]

#### 4. Wykorzystanie TEVA\_SPOT w projektowaniu monitoringu

W Stanach Zjednoczonych od roku 2007 program TEVA-SPOT został z powodzeniem zastosowany w kilku większych miastach. Narzędzie to zostało wykorzystane dla dziewięciu odrębnych systemów wodociągowych w celu określenia wpływu liczby punktów pomiarowych na korzyści wynikające z zastosowania systemu monitoringu.

Rozpoczynając pracę w programie TEVA-SPOT należy określić podstawowe parametry oraz zdefiniować wykorzystanie wybranych modułów programowych. Ogólna charakterystyka tych danych obejmuje następujące elementy:

- określenie liczby osób narażonych na zanieczyszczenie na podstawie dwóch metod: rozbiórów węzłowych w modelu lub określonej liczby mieszkańców przypisanej do węzłów z zerowym rozbiorem - w postaci importu pliku typu tekstowego (.txt);



- określenie modułów obliczeniowych, które mają zostać uruchomione po rozpoczęciu obliczeń; (Etap ten wiąże się z podaniem wszystkich wyszczególnionych parametrów oraz określeniu stosowanych jednostek?? (tabela nr. 3.1).
- przeprowadzenie obliczeń i uzyskanie wyników w formie mapy sieci lub tabelarycznie, obejmujących: wpływ danego zagrożenia na zdrowie odbiorców, infrastrukturę sieci wodociągowej, czy umiejscowienia punktów pomiarowych (rys. 4 i 5)

#### 4.1. Wyzwania i ograniczenia

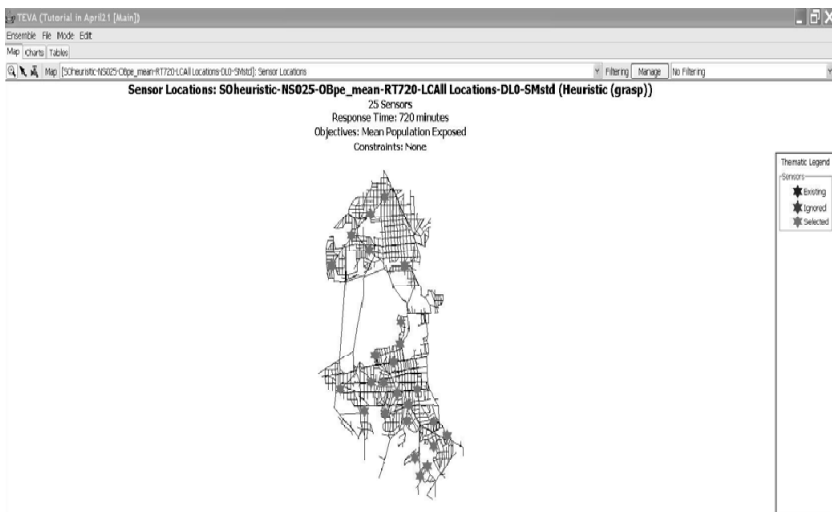
Na podstawie przedstawionego przykładu zastosowania oprogramowania TEVA-SPOT można wyróżnić szereg zalet tego typu aplikacji.

1. Program umożliwia określenie skutków zdarzenia, wyrażonych między innymi w liczbie osób poszkodowanych w czasie skażenia oraz długości odcinków sieci, które należy przepłukać. Program wykorzystuje do tych obliczeń wyniki z programu EPANET oraz dane modelu dotyczące sposobu rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia.
2. Dzięki zastosowanemu podejściu możliwa jest optymalizacja, która uwzględniła preferencje miejsc o podwyższonym prawdopodobieństwie skażenia. Z praktycznego punktu widzenia tego typu informacje są obarczone małą pewnością. Jeśli zaś użytkownik nastawiony jest na ochronę systemu w kilku wybranych punktach, program umożliwia minimalizację możliwych skutków zdarzeń ze względu na wybrane punkty.
3. Dzięki szybkim i sprawnym algorytmom użytkownik ma możliwość określenia warunków brzegowych dla których projektowany system monitoringu działa poprawnie dla wszystkich rozpatrywanych kryteriów. Ponadto zastosowane algorytmy obliczeniowe korzystają z metod heurystycznych, które pozwalają określić, z dużym prawdopodobieństwem, optymalne położenie punktów.
4. Program silnika obliczeniowego jest w pełni „skalowalny”, co pozwala ograniczyć do minimum ilość zajmowanego miejsca na dysku i czas wykonywanych operacji.

#### 4.2. Metodyka oceny skutków i wpływu zagrożenia

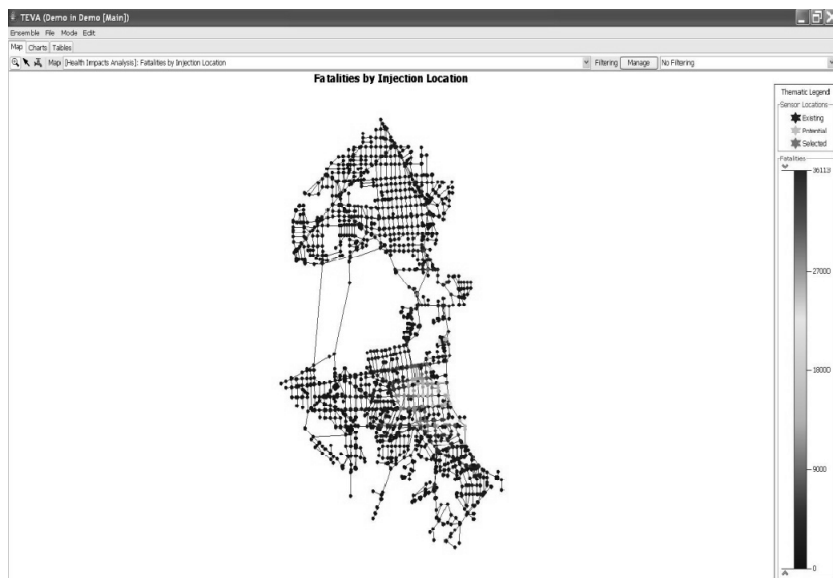
Autorzy programu TEVA-SPOT, dokonując wyboru lokalizacji punktów pomiarowych założyli możliwość rozpatrywania różnorodnych czynników w procesie podejmowania tego typu decyzji (rys. 3). Podstawę wyjściową do tego zadania stanowi przyjęta metodyka modelowania i określania skutków danego zagrożenia na dostawy wody oraz konsekwencje zdrowotne dla odbiorców rozpatrywanego modelu sieci wodociągowej. Ocenę skutków modelowanego zagrożenia w systemie, program TEVA-SPOT określa w oparciu o sześć różnych kryteriów, podlegających minimalizacji:

- PE – liczba osób potencjalnie zagrożonych,
- EC – zasięg rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia (liczony w długości przewodów),
- VC – ilość spożytej wody zanieczyszczonej,
- MC – masa zanieczyszczenia, która rozprzestrzeniła się w sieci,
- NFD – liczba fałszywych zagrożeń, wykrywana podczas rejestracji pomiarów,
- TD – czas wykrycia zagrożenia w systemie.



Rys. 4. Zrzut ekranu TEVA-SPOT - wyniki proponowanych lokalizacji punktów pomiarowych [7].

Fig.4. TEVA-SPOT print screen – results of sensor placement



Rys. 5. Zrzut ekranu TEVA-SPOT - liczba osób zagrożonych skażeniem w zależności od miejsca jego wykrycia[7].

Fig. 5. TEVA-SPOT print screen – population exposed in relation to injection point [7]

Opisane powyżej podejście pozwala na uwzględnienie najważniejszych elementów oceny związanych głównie z określeniem ryzyka zagrożenia zdrowia i życia użytkowników wody jak również możliwości minimalizacji innych skutków występującego zagrożenia.

### 4.3. Liczba punktów pomiarowych

Całkowity koszt zakupu urządzeń pomiarowych i montażu może być stosunkowo duży i zależy w głównej mierze od wielkości i złożoności sieci wodociągowej. Dodatkowo koszty eksploatacji i utrzymania urządzeń w ciągu roku mogą stanowić dodatkowe 15-30% wartości kosztów samego opomiarowania. Stąd kryterium kosztów wzrastających wprost proporcjonalnie do liczby projektowanych punktów jest często decydującym czynnikiem w sposobie realizacji tego zadania. Przypomnieć w tym miejscu warto iż program TEVA-SPOT pozwala uwzględnić wiele kryteriów odgrywających rolę w procesie projektowania systemu monitoringu.

Można zatem ogólnie stwierdzić, że liczba punktów pomiarowych projektowanych z uwzględnieniem kryterium ochrony systemu zaopatrzenia w wodę zawsze będzie związana z pytaniem o poziom akceptowanego ryzyka dla danego systemu dystrybucji wody. Musi zostać ono zdefiniowane jednoznacznie przez dane przedsiębiorstwo, co szczegółowo zostało opisane w pracy [11,12].

### 4.4. Wybór lokalizacji punktów pomiarowych dla dużych sieci

Wiele spośród metod zaproponowanych np. przez [14] i innych zostało opracowanych oraz testowanych dla małych sieci wodociągowych. Praktyczne zastosowanie ich dla dużych aglomeracji miejskich może okazać się mało przydatne choćby ze względu na ograniczone możliwości systemu komputerowego.

Zaprezentowane narzędzie informatyczne TEVA-SPOT posiada trzy rodzaje silników obliczeniowych stosowane w procesie poszukiwania optymalnej lokalizacji punktów pomiarowych:

- MIP- (z ang. mixed-integer programming) programowanie mieszane całkowito-liczbowe, które dla dużych sieci, może znacznie obciążać pamięć operacyjną;
- GRASP- (z ang. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure). Procedura adaptacyjno-losowa, wykorzystująca algorytmy heurystyczne, dobrze sprawdzające się dla dużych sieci lecz wymagające wcześniejszego zredukowania problemu przez skrócenie listy potencjalnych lokalizacji w procesie wyboru oraz ograniczenie symulowanych jednocześnie zagrożeń w sieci, co odbywa się w procesie tzw. szkieletyzacji modelu.
- LAG- rozszerzona metoda mnożników Lagrange'a. Jest to metoda znacznie szybsza niż GRASP lecz uzyskiwane rozwiązania w postaci konkretnych lokalizacji nie są tak bliskie rozwiązaniom optymalnym, jak w przypadku zastosowania metod heurystycznych. Metodę tą stosuje się w przypadku rozległych i dużych sieci wodociągowych lub w przypadku ograniczenia pamięci dla metody GRASP.

W praktyce jednak okazuje się bardzo często, że określony punkt pomiarowy, optymalnie zlokalizowany, nie może być fizycznie zamontowany w danym miejscu ze względu na brak dostępu (ulica, skrzyżowanie, przejście nad/pod innymi przewodami), brak miejsca do montażu lub problemy z jego utrzymaniem, itp. Wówczas zamontowane zostają dwa punkty z sąsiedniej lokalizacji. Co więcej często takie rozwiązanie z punktu widzenia ekonomicznego okazuje się bardziej korzystne. Rozwiązaniem tego problemu jest wprowadzenie ograniczonej liczby potencjalnie rozpatrywanych miejsc jako dane wejściowe do TEVA-SPOT. Z drugiej strony należy pamiętać, iż każde zredukowanie i ograniczenie możliwych rozwiązań oddala nas od realnie występującego szerokiego spectrum rozwiązań. Program TEVA-SPOT najefektywniej pracuje dla modeli do 10 000 węzłów. Dla dużych natomiast modeli hydraulicznych, gdzie występuje np. 20 000 zasuw lub więcej, zadania realizowane przy użyciu tego oprogramowania mogą okazać się niemożliwe do wykonania.

W wyżej opisanym podejściu powstaje jednak pytanie: w jakimi kryteriami kierować się chcąc ograniczać obszar możliwych zagrożeń występujących w sieci wodociągowej, skoro symulowanie tego typu zdarzeń powinno uwzględniać wszystkie możliwe miejsca skażenia. Chcąc dokładniej rozważyć i ocenić poprawność przyjętego podejścia należałoby określić wpływ agregacji danego modelu na uzyskiwane wyniki w czasie modelowania hydraulicznego [17].

## 5. Podsumowanie

Powyższe rozważania wskazują, że uwzględnienie kryterium ochrony systemu wodociągowego w procesie projektowania systemu monitoringu jest złożonym zadaniem, którego realizacja wymaga posługiwania się metodami optymalizacji wielokryterialnej.

Zaprezentowany w referacie program TEVA-SPOT z pewnością stanowi ciekawą propozycję dla przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych w zakresie wykorzystania nowoczesnych narzędzi informatycznych do projektowania systemów wczesnego ostrzegania.

Zaproponowane narzędzia informatyczne wykorzystują najnowsze algorytmy optymalizacji wyboru punktów pomiarowych oraz stanowią darmowe rozwiązanie, dostępne z dowolnego miejsca na świecie.

Warto również podkreślić, iż proponowane przez NHSRC oprogramowanie stanowi zintegrowany element systemu informatycznego, który łączy się z pozostałymi narzędziami wykorzystywanymi do kompleksowego zarządzania systemem dystrybucji wody.

Trzeba jednak zwrócić uwagę na bariery i ograniczenia praktycznego zastosowania tego typu oprogramowania w Polsce. Mankamentem może okazać się dostępność tego typu narzędzi jedynie w języku angielskim, wraz z poradnikami użytkownika oraz serwisem online. Ponadto w Polsce nadal nie ma tak dobrze rozwiniętych systemów opomiarowania, szczególnie jeśli chodzi o parametry związane z jakością wody. Brak też na szeroką skalę prowadzonych badań w przedsiębiorstwach wodociągowych, z zakresie identyfikacji substancji (ich rodzajów reakcji biologicznych oraz chemicznych mających miejsce w sieci wodociągowej), mogące stanowić ograniczenia w sposobie modelowania tego typu zagrożeń z uwzględnieniem specyfiki danego systemu wodociągowego. W praktyce realizacji modelowania zagadnień związanych z terroryzmem trudnością może okazać się konieczność ciągłej aktualizacji danych sieci, dostęp i sposób pobierania danych pomiarowych oraz uwzględnienie działań operatora w trakcie zdarzenia polegającego na uwolnieniu do sieci niebezpiecznej substancji [9].

Stosowanie zintegrowanych narzędzi informatycznych służących kompleksowemu zarządzaniu przedsiębiorstwami wodociągowo-kanalizacyjnymi wymusza udoskonalanie pozostałych obszarów informatyzacji, tj. systemy monitorowania, szczególnie parametrów jakości wody w sieci, tworzenia i aktualizacji baz danych GIS, stanowiącej podstawę wiedzy o stanie majątku przedsiębiorstwa jak również bogaty zasób danych wejściowych do modelowania [15].

## Bibliografia

- [1] Bałut A., Urbaniak A., Model sieci jako narzędzie ochrony systemu zaopatrzenia w wodę, *Gaz, woda i technika sanitarna*, 9/2013, 359-363.
- [2] Berry J., Hart W.E., Phillips C.A., Uber J.G., Watson J.P., Sensor placement in municipal water networks with temporal integer programming models, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(4) 2006, 218-224.
- [3] Clark R.M., Hakim S., Ostfeld A., *Handbook of Water and Wastewater Systems Protection* Springer, USA, 2011, 324-331.
- [4] EPA/600/R-09/141, US-EA, Sensor Network Design for Drinking Water Contamination Warning Systems, A Compendium of Research Result and Case Studies Using TEVA-SPOT Software, NHSRC, 2010, Cincinnati, OH.
- [5] EPA/600/R-010/036, US-EPA, Water Quality Event Detection Systems for Drinking Water Contamination Warning Systems, Development, Testing and Application of CANARY, NHSRC, 2010, Cincinnati, OH.
- [6] EPA/600/S-07/021, US-EPA by Shang F., Uber J.G., EPANET Multi-Species Extension User's Manual, NHSRC, 2011, Cincinnati, OH, 7-9.
- [7] EPA/600/R-08/147, US-EPA by Janke R., Threat Ensemble Vulnerability Assessment- Sensor Placement Optimization Tool (TEVA-SPOT) Graphical User Interface User's Manual, NHSRC, 2012, Cincinnati, USA.
- [8] Hart D.B., Murray R., Review of sensor placement strategies for contamination warning systems in drinking water distribution systems, *Journal of water Resources Planning and Management*, 136(6), 611-619.
- [9] Kwietniewski M., Kowalski B., Kowalski D., Wąsowski J., Chudziński J., Misztal Kruk K., Problematyka zarządzania jakością wody w systemach dystrybucji, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 3/2012
- [10] Łomotowski J., Siwoń Z., Metodyka analizy danych pochodzących z monitoringu systemów wodociągowych i kanalizacyjnych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 3/2010, 16-20.
- [11] Murray R., Baranowski T., Janke R., Hart W.E., Risk reduction and sensor network design, *Water Distribution System Analysis*, 2008. ASCE, Reston, VA, USA.

- [12] Murray R., Janke R., Hart W.E., Berry J.W., Taxon T., Uber J., Sensor network design of contamination warning systems: a decision framework, *Journal of American Water Works Association*, 100(11), 2008, 97-109.
- [13] Ostfeld A., Salomons E. ,Optimal layout of early warning detection stations for water distribution systems security, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(5), 2004, 377-385.
- [14] Ostfeld A. and others, The battle of the water sensor networks (BWSN): a design challenge for engineers and algorithms.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(6), 2007, 556–568
- [15] Studziński J., Zastosowanie danych z monitoringu w systemie zarządzania miejską siecią wodociągową. *Studia i Materiały PSZW (W. Bojar, red.)*, tom 9, PSZW Bydgoszcz 2007, 154-164.
- [16] Studziński J., SCADA do zarządzania miejskim systemem zaopatrywania w wodę, *Ochrona Środowiska*, 1/2012, 26-30.
- [17] Walski T.M., Daviau J.L., Coran S., Effect of skeletonization on transient analysis result, *Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management: USA*, 2004, 1-10.

### **Źródła internetowe**

- [18] [http://e-bmp.pl/File/bmp\\_4f7be8b4c346b.pdf](http://e-bmp.pl/File/bmp_4f7be8b4c346b.pdf)
- [19] [http://www.epa.gov/nhsrc/toolsandapps.html#ws\\_teva](http://www.epa.gov/nhsrc/toolsandapps.html#ws_teva)
- [20] [http://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?address=nhsrc/si/&dirEntryId=215992](http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?address=nhsrc/si/&dirEntryId=215992)
- [21] <http://www.epa.gov/nhsrc/toolsandapps.html>
- [22] <http://www.epa.gov/nhsrc/>
- [23] [http://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?address=nhsrc/si/&dirEntryId=218488](http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?address=nhsrc/si/&dirEntryId=218488)