

Sposób wyznaczania lokalizacji punktów pomiaru jakości wody przesyłanej w sieciach wodociągowych

Przedmiotem wynalazku jest sposób wyznaczania lokalizacji punktów pomiaru jakości wody przesyłanej w sieci wodociągowej dla celów monitoringu jej funkcjonowania.

Konieczność monitorowania systemu dystrybucji wody jest zapisana w kluczowych aktach prawnych regulujących funkcjonowanie systemów wodociągowych i związaną z tym działalność eksploatujących je przedsiębiorstw między innymi w Ustawie o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i odprowadzeniu ścieków z 2001 r. , PN-EN 805:2002, Rozp. Min. Zdrowia w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi z 2007 r. oraz Guidelines for drinking-water quality, second edition, volume 1, Recommendations -WHO 2004 i Dyrektywie UE 98/83/EC dotyczącej jakości wody przeznaczonej do konsumpcji przez ludzi z 1998 r. W wymienionych aktach określa się bardzo wyraźnie potrzebę monitorowania zarówno parametrów hydraulicznych jak i jakości wody dostarczanej do odbiorców siecią wodociągową. Korzyści jakie uzyskuje przedsiębiorstwo z posiadania i użytkowania systemu pomiarowego można ująć w kilku punktach:

- dostarczanie informacji do sterowania i regulacji systemu dystrybucji wody
- dostarczenie danych do wspomagania procesu eksploatacji, modernizacji i rozwoju sieci,

- dostarczanie danych do kalibracji modelu sieci wodociągowej - modułu hydraulicznego i modułu jakościowego a przy tym, ułatwienie lokalizacji zamkniętych/przymkniętych zasuw na sieci,
- ułatwienie oceny niezawodności dostawy wody do odbiorców.

Jednym z najtrudniejszych a zarazem kluczowym zadaniem projektowania systemów monitoringu jest właściwa lokalizacja punktów pomiaru parametrów hydraulicznych oraz parametrów jakości wody. Problem ten nie został rozwiązany w pełni ani w obowiązujących aktach prawnych i normach ani też w licznych pracach badawczych dotyczących monitoringu prowadzonych w kraju i za granicą.

Dotychczas w większości przypadków lokalizację punktów pomiaru jakości wody wyznacza się w oparciu o doświadczenie eksploatatorów sieci wodociągowych, lub z wykorzystaniem jednej z 14 znanych metod Ostfeld i inni, 2007 *The Battle of the water Sensor Network: A Design Challenge for Engineers and Algorithms* - Artykuł przesłany do Water Reserch – Revised Submission WR/2007/023438. Cechą charakterystyczną powyższych metod jest wykorzystanie różnego typu modeli optymalizacyjnych bazujących na wielkości rozbioru wody i/lub, układzie strukturalnym sieci wodociągowych. Wspomniane powyżej metody posiadają przez to znaczące ograniczenie, ponieważ nie uwzględniają charakterystyki odbiorców wody innej niż tylko wielkość zużywanej przez nich wody.

Istotą sposobu wyznaczania lokalizacji punktów pomiaru jakości wody przesyłanej w sieciach wodociągowych jest to, że

pierwszy punkt pomiaru jakości wody lokalizowany jest w miejscu/miejscach zasilania sieci wodociągowej w wodę, zaś kolejne punkty pomiaru jakości wody lokalizuje się w sposób rekurencyjny, w pierwszym przybliżeniu rozpatrując wydzielone podobszary jednostki osadniczej obsługiwanej przez sieć wodociągową, zaś w drugim przybliżeniu poszczególne węzły sieci wodociągowej tej jednostki osadniczej, w oparciu o ranking wskaźnika \underline{W} zdefiniowany następującym wzorem

$$W = Q \cdot a \cdot b \cdot c$$

gdzie:

- Q - wielkość dobowego zapotrzebowania na wodę,
- a - współczynnik opisujący wymaganą pewność dostawy wody o wymaganej jakości, zależny od rodzaju odbiorców wody,
- b - współczynnik opisujący skutki braku dostawy wody, zależny od rodzaju zabudowy na terenie zaopatrywanym przez sieć wodociągowa w wodę,
- c - współczynnik opisujący czas przebywania wody w systemie dystrybucyjnym, zależny od wyników obliczeń symulacyjnych opartych o model numeryczny funkcjonowania sieci wodociągowej,

przy czym wartości współczynników \underline{a} , \underline{b} i \underline{c} przyjmują wartości od 1 do 5, zgodnie z klasyfikacją szacowania ryzyka.

Korzystnym skutkiem sposobu według wynalazku jest to, że można wyznaczyć lokalizację punktów pomiaru jakości wody w sieciach wodociągowych niezależnie od ich wielkości i układu strukturalnego oraz to, że oprócz wielkości zapotrzebowania na

wodę uwzględnienia on dodatkowe czynniki takie jak: wymagana pewność dostawy wody do odbiorców, skutki braku tej dostawy oraz czas przebywania wody w układzie dystrybucyjnym. Sposób według wynalazku umożliwia ograniczenie pracochłonności wyznaczania lokalizacji punktów pomiarowych – pierwsze przybliżenie, bazujące na wytypowanych obszarach jednostki osadniczej zasilanej przez sieć wodociągową w wodę, pozwala na ograniczenie liczby węzłów tej sieci poddawanych analizie w drugim przybliżeniu, jak również zabezpiecza przed możliwością lokalizowania punktów pomiarowych zbyt blisko siebie.

Wynalazek został uwidoczniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig 1 przedstawia modelową sieć wodociągową wraz z obszarem jednostki osadniczej zasilanej przez nią w wodę, fig. 2 - modelową sieć wodociągową z wyróżnionymi podobszarami oraz wyróżnionym poprzez kreskowanie podobszarem o najwyższej wartości wskaźnika \underline{W} wyliczonego ze wzoru (1), a fig. 3 - powiększenie podobszaru zakreskowanego na rysunku fig. 2, wraz z oznaczeniami poszczególnych węzłów znajdującej się tam modelowej sieci wodociągowej.

Sposób wyznaczania lokalizacji punktów pomiaru jakości wody przesyłanej w sieciach wodociągowych polega na rekurencyjnym prowadzeniu procesu lokalizacji punktów pomiarowych. Pierwszy punkt pomiarowy lokalizuje się w miejscu/miejscach zasilania sieci w wodę. Dalsze punkty lokalizuje się w sposób rekurencyjny, w pierwszym przybliżeniu rozpatrując wydzielone podobszary jednostki osadniczej obsługiwanej przez sieć wodociągową, w drugim

przybliżeniu zaś poszczególne węzły sieci wodociągowej tej jednostki osadniczej, w oparciu o ranking wskaźnika \underline{W} zdefiniowany następującym wzorem:

$$W = Q \cdot a \cdot b \cdot c \quad (1)$$

w którym:

Q - wielkość dobowego zapotrzebowania na wodę,

a - współczynnik opisujący wymaganą pewność dostawy wody o wymaganej jakości, zależny od rodzaju odbiorców wody,

b - współczynnik opisujący skutki braku dostawy wody, zależny od rodzaju zabudowy na terenie zaopatrywanym przez sieć wodociągowa w wodę,

c - współczynnik opisujący czas przebywania wody w systemie dystrybucyjnym, zależny od wyników obliczeń symulacyjnych opartych o model numeryczny funkcjonowania sieci wodociągowej.

Wartości powyższych współczynników wahają się w granicach od 1 do 5, zgodnie z klasyfikacją przyjętą w metodach szacowania ryzyka, podaną przez: Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. „Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę”, Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005. Według powyższej klasyfikacji wartość 1 odpowiada bardzo małym, 2 – małym, 3-średnim, 4 – dużym i 5 – bardzo dużym, negatywnym skutkom wystąpienia awarii.

Wartości współczynnika \underline{a} ze wzoru (1) uzależniona jest od rodzaju odbiorców wody, wykazywanych w dokumentacji projektowej sieci wodociągowej oraz dokumentacji działu sprzedaży

wody w przedsiębiorstwach wodociągowych. Zestawienie wyodrębnionych rodzajów odbiorców wody wraz z przyporządkowanymi im wartościami współczynnika \underline{a} do wzoru (1) przedstawiono w tabeli 1.

Tab.1. Wartości współczynnika \underline{a} w zależności od rodzaju odbiorców wody

Rodzaj odbiorców	Wartość wsp. \underline{a}
Mieszkańcy	1
Szkoły, internaty, usługi niewodochłonne	2
Usługi wodochłonne, centra handlowe, centra administracyjne, małe sklepy	3
Przychodnie, hale widowiskowo-sportowe, tereny przemysłowo-składowe, gastronomia	4
Przemysł wodochłonny, bazy straży pożarnej, szpitale	5

Wartości współczynnika \underline{b} ze wzoru (1) uzależniona jest od rodzaju zabudowy, wykazywanej w planie zagospodarowania przestrzennego jednostki osadniczej zasilanej w wodę przez sieć wodociągową. Zestawienie rodzajów zabudowy wraz z przyporządkowanymi im wartościami współczynnika \underline{b} do wzoru (1) przedstawiono w tabeli 2.

Tab.2. Wartości współczynnika \underline{b} , w zależności od rodzaju zabudowy

Rodzaj zabudowy	Wartość wsp. \underline{b}
Zabudowa niska	1
Zabudowa średnia	2
Zabudowa wysoka	3
Centra administracyjne, tereny przemysłowe	4
Obiekty służące ratowaniu życia	5

Wartości współczynnika \underline{c} ze wzoru (1) uzależniona jest od czasu zatrzymania wody w sieci wodociągowej, obliczanego przy wykorzystaniu modelu numerycznego pozwalającego na symulację warunków hydraulicznych panujących w tej sieci. W sposobie zastosowano równomierny podział czasów zatrzymania na pięć grup, przyjmując, że im większy czas zatrzymania w przewodach sieci wodociągowej, tym większe niebezpieczeństwo obniżenia jakości przesyłanej nimi wody. Zestawienie czasów zatrzymania wody w sieci wodociągowej wraz z przyporządkowanymi im wartościami współczynnika \underline{c} do wzoru (1) przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości współczynnika \underline{c} , w zależności od obliczonej wartości czasu zatrzymania wody

Czas zatrzymania wody	Wartość wsp. \underline{c}
0 ÷ 20% największego spośród wszystkich węzłów	1
21 ÷ 40% max	2
41 ÷ 60% max	3
61 ÷ 80% max	4
81 ÷ 100% max	5

W początkowej fazie sposobu według wynalazku, obszar sieci wodociągowej dzieli się na podobszary A, B, C, D, E, F, G, H, I – kwadraty, o długości boku odpowiadającej odległości jaką przepłynie woda ze średnią prędkością panującą w sieci wodociągowej w godzinie o średnim godzinowym rozbiórze, przez zakładany przez projektanta czas, odpowiadający maksymalnemu czasowi detekcji zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej przez system monitoringu lub minimalnej dopuszczalnej odległości pomiędzy

kolejnymi punktami pomiarowymi. Dla każdego podobszaru A, B, C, D, E, F, G, H, I, za pomocą wzoru (1) sporządza się ranking według wskaźnika W, przyjmując wartości współczynników wzoru (1) zgodnie z dominującymi w danym podobszarze rodzajami odbiorców i zabudowy oraz przyjmując, że czas zatrzymania wody w każdym podobszarze odpowiada czasowi zatrzymania wody wyznaczonemu za pomocą modelu numerycznego warunków hydraulicznych panujących w sieci, w pojedynczym węźle zlokalizowanym centralnie w stosunku do każdego z podobszarów. Do dalszej analizy wybiera się podobszary o najwyższych pozycjach w tym rankingu, w liczbie odpowiadającej założonej liczbie punktów pomiarowych. Jako zasadę przyjmuje się lokalizowanie jednego punktu pomiarowego na terenie każdego z podobszarów wytypowanych w pierwszej fazie zastosowania sposobu.

W drugiej fazie analizie poddaje się poszczególne węzły sieci wodociągowej znajdujące się na terenie wytypowanych w przedstawiony powyżej sposób podobszarach A, B, C, D, E, F, G, H, I. Pomija się tu węzły zlokalizowane na podobszarach, które znalazły się na niskich pozycjach w rankingu, co znacząco ogranicza pracochłonność analiz. W obrębie każdego z wytypowanych podobszarów sporządza się ranking zlokalizowanych w nich węzłów sieci wodociągowych, w oparciu o wskaźnik W wyznaczany zgodnie ze wzorem (1). Wartości współczynników a, b i c wyznacza się na tym etapie ze znacznie większą szczegółowością niż na etapie poprzednim, ponieważ węzły sieci wodociągowej odpowiadają pojedynczym lub co najwyżej kilku budynkom zlokalizowanym

blisko siebie. Poszukiwana lokalizacja punktów pomiaru jakości wody odpowiada lokalizacjom węzłów o najwyższej pozycji w rankingu opartego o wskaźnik \underline{W} , w każdym z wytypowanych w pierwszej fazie podobszarów.

W przykładzie wykonania modelowa sieć wodociągowa, składa się z 37 węzłów i 46 odcinków. Zasilana jest ona z pojedynczego źródła wody \underline{Z} , przy którym znajduje się pierwszy punkt pomiaru jakości przesyłanej wody. Teren jednostki osadniczej zasilanej przez sieć oznaczono prostokątem. Powyższy obszar dzieli się na kwadratowe podobszary \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} , \underline{E} , \underline{F} , \underline{G} , \underline{H} , \underline{I} . Długość boku kwadratu wyznaczono jako minimalną dopuszczalną odległość pomiędzy kolejnymi punktami pomiarowymi. Każdy z wyznaczonych podobszarów scharakteryzowano pod względem rodzaju dominujących odbiorców, rodzaju zabudowy oraz czasu zatrzymania wody. Powyższą charakterystykę zawarto w tabeli 4. Dla każdego podobszaru obliczono wskaźnik \underline{W} wyrażony wzorem (1).

W oparciu o uzyskane wartości wskaźnika \underline{W} sporządzono ranking podobszarów. Najwyższą pozycję w tym rankingu uzyskał podobszar \underline{C} , oznaczony poprzez zakreskowanie, w którym zgodnie z przyjętą metodyką przewiduje się lokalizację drugiego punktu pomiarowego.

W podobszarze \underline{C} znajduje się 6 węzłów: $\underline{C1}$, $\underline{C2}$, $\underline{C3}$, $\underline{C4}$, $\underline{C5}$ i $\underline{C6}$. Dla każdego z tych węzłów sporządzono charakterystykę odbiorców, rodzaju zabudowy i czasu zatrzymania wody oraz obliczono wskaźnik \underline{W} w oparciu o wzór (1). Charakterystykę węzłów oraz współczynniki wzoru (1) zestawiono w tabeli 5.

Tab. 4. Charakterystyka podobszarów modelowej sieci wodociągowej, uwidocznionych na rysunku fig. 2, wraz z wartościami współczynników do wzoru (1)

Pod- obszar	Rodzaj		Czas zatrzymania h	Q m ³ /d	a	b	c	W
	odbiorcy	zabudowy						
<u>A</u>	mieszkańcy	niska	1,0	8,0	1	1	2	16,0
<u>B</u>	mieszkańcy	wysoka	0,5	30,5	1	3	1	91,5
<u>C</u>	przemysł. - składowy	przemysł	1,0	25,0	4	4	2	800,0
<u>D</u>	mieszkańcy	niska	1,5	15,0	1	1	3	45,0
<u>E</u>	Centrum handlowe i administr.	średnia	0,5	50,7	3	4	1	608,4
<u>F</u>	mieszkańcy	średnia	1,5	20,0	1	2	3	120,0
<u>G</u>	mieszkańcy	niska	2,5	7,0	1	1	5	35,0
<u>H</u>	mieszkańcy	niska	2,0	1,0	1	1	4	4,0
<u>I</u>	mieszkańcy	niska	2,5	1,0	1	1	5	5,0

Tab. 5. Charakterystyka węzłów modelowej sieci wodociągowej, uwidocznionych na rysunku fig. 3, wraz z wartościami współczynników do wzoru (1)

Pod- obszar	Rodzaj		Czas zatrzymania h	Q m ³ /d	a	b	c	W
	odbiorcy	zabudowy						
<u>C1</u>	mieszkańcy	średnia	0,8	3,0	1	2	4	19,2
<u>C2</u>	przemysł	przemysł	1,0	5,0	4	4	5	400,0
<u>C3</u>	magazyn	przemysł	1,2	2,0	4	4	5	192,0
<u>C4</u>	mieszkańcy	niska	1,0	5,0	1	1	5	25,0
<u>C5</u>	straż pożarna.	obiekt ratowania życia	0,8	4,0	5	5	4	320,0
<u>C6</u>	przemysł	przemysł	0,6	6,0	4	4	3	172,8

Najwyższą wartość wskaźnika W, zestawionego w tabeli 5, obliczono dla węzła C2. Zgodnie ze sposobem w węzle tym zlokalizowano poszukiwany punkt pomiaru jakości wody.

W przypadku zakładanej większej liczby punktów pomiarowych proces wyznaczania ich lokalizacji prowadzi się analogicznie do opisanego, oddzielnie dla każdego z podobszarów wytypowanych na podstawie rankingu z pierwszej fazy procesu.

W prezentowanym przykładzie analizie poddano 9 obszarów i 6 węzłów. Bez zastosowania rekurencyjnego sposobu wyznaczania punktów pomiarowych analizie tej należałoby poddać wszystkie 37 węzłów, co zwiększyłoby pracochłonność działań. Powyższe ograniczenie pracochłonności będzie tym bardziej widoczne im bardziej będzie złożona sieć wodociągowa i im więcej węzłów będzie ona zawierać.

RZECZNIK PATENTOWY
mgr inż. Tomasz Mileczek

POLITECHNIKA LUBELSKA
Biuro Rzecznika Patentowego
ul. Nadbystrzycka 40A, 20-618 Lublin
tel.: 81-538 41 30