

Maciej MROWIEC, Tomasz HERCZYK, Emil KULIŃSKI

Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska

ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa

e-mail: mrowiecm@is.pcz.czest.pl, therczyk@pwik.czest.pl, ekulinski@pwik.czest.pl

Analiza zmienności parametrów jakościowych wody pitnej w układzie dystrybucji

Niniejszy artykuł jest próbą opisaną zależności pomiędzy zmiennością parametrów jakościowych wody a czasem retencji wodnej. Przedstawione w artykule wyniki badań są rezultatem doświadczenia przeprowadzonego na dwóch odcinkach sieci wodociągowej zaopatrującej ludność w wodę pitną w rejonie Częstochowy. Na podstawie próbek wody pobranych dwoma metodami oznaczono parametry fizykochemiczne, takie jak: mętność, zawartość żelaza ogólnego oraz przewodność elektryczną. W zakresie badań określono również ogólną liczbę mikroorganizmów. Powyższe wyniki powiązano z prędkością przepływu wody oraz czasem jej retencji. Do obliczeń wykorzystano dane z monitoringu sieci, które określiły początkowe parametry pracy układu. Wyznaczone punkty poboru próbek podzieliły wytypowane rurociągi na krótsze odcinki, dla których metodą analityczną wyznaczono prędkości przepływu. W pracy wykorzystano system GIS, dzięki któremu ustalono liczbę przyłączy wodociągowych obsługiwanych przez dany fragment sieci, co przy uwzględnieniu średniego jednostkowego zużycia wody na przyłącze pozwoliło wyliczyć czas retencji wodnej w rurociągach sieci wodociągowej. W niniejszym artykule opisano pierwszy etap prac, dalsze etapy zostaną zaprezentowane w kolejnych publikacjach.

Słowa kluczowe: jakość wody, wiek wody

Wstęp

Podstawowym zadaniem stawianym przed siecią wodociągową jest dostarczenie wody jej odbiorcom w odpowiedniej ilości pod wymaganym ciśnieniem oraz o jakości zgodnej z obowiązującymi przepisami [1]. Zapewnienie odpowiedniej jakości wody w czasie jej transportu rurociągami do odbiorców często sprawia eksploatatorom trudności z powodu jej wtórnego zanieczyszczenia [2]. Problem związany jest także ze zmniejszającym się jednostkowym zużyciem wody na cele bytowo-gospodarcze, co wpływa na obniżenie prędkości przepływu w sieci. Udostępniane przez eksploatatorów wyniki badań wskaźników fizycznych, chemicznych oraz biologicznych wody dotyczą zazwyczaj badań wykonanych w oparciu o próbki pobrane na stacjach uzdatniania. Początkowe wartości poszczególnych wskaźników nie są wartością stałą, ulegają zmianie w różnych punktach poboru wody. Zmiany te są zazwyczaj pochodną czasu kontaktu wody z wewnętrzną

powierzchnią przewodów. Istotne jest zatem posiadanie wiedzy na temat dynamiki zmienności parametrów jakościowych wody opartej na obserwacji oraz analizie hydraulicznych parametrów pracy wybranego układu dystrybucji wody pitnej. Niniejszy artykuł jest wynikiem obserwacji oraz badań przeprowadzonych dla dwóch różnych rurociągów pracujących na obszarze eksploatowanym przez Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie.

Celem badań było ustalenie parametrów cechujących się dużą zmiennością oraz poziomem istotności w aspekcie zdrowia klientów [3]. Badania dotyczyły wpływu parametrów hydraulicznych pracy sieci wodociągowej (prędkości, czasu retencji wodnej) na zmiany jakościowe transportowanej wody. Przedmiotem badań była woda podziemna o dużej stabilności składu chemicznego [4].

1. Metodyka badań

Badania nad zmianami jakości wody wodociągowej prowadzono na próbkach pobranych dwiema metodami:

- pobór bezpośrednio z węzłów hydrantowych zabudowanych na sieci wodociągowej (rys. 1),
- pobór z wewnętrznych instalacji wodociągowych (wytypowano posesje, cechujące się równomiernym poborem wody na cele konsumpcyjne).

W przypadku poboru wody z instalacji wewnętrznych do badań wykorzystano wyłącznie przyłącza wykonane z polietylenu, co pozwoliło wyeliminować zróżnicowanie wpływu materiału na jakość wody.

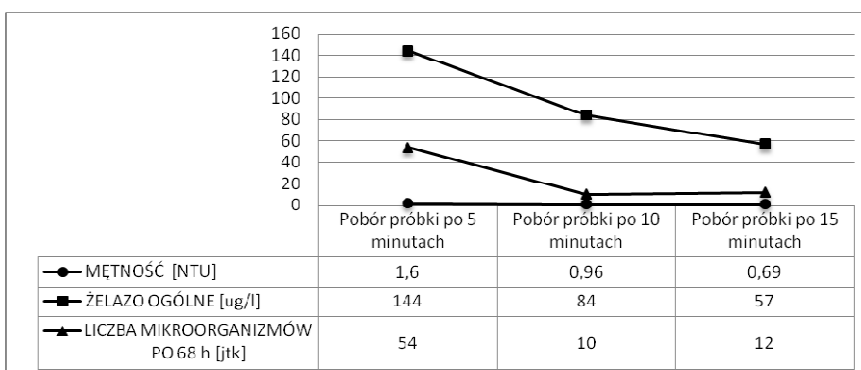


Rys. 1. Przygotowanie hydrantu do poboru próbki pod kątem badań mikrobiologicznych

Fig. 1. Preparation of hydrant to taking samples for microbiological tests

Zastosowanie dwóch metod pomiarowych pozwoliło oszacować, która z nich jest bardziej miarodajna i obciążona mniejszym błędem. W ramach badań wstępnych pobrano łącznie 40 próbek dla rozpatrywanych rurociągów. W przypadku

wody pobranej z hydrantów dokonano pomiaru w odstępie 5, 10 oraz 15 minut od momentu otwarcia przepływu wody. Przepływ wody przez stojkę hydrantową w chwili pomiaru wynosił 0,2 l/s, tak więc zaobserwowane zanieczyszczenia pochodzić mogły tylko z hydrantu. W rurociągu rozdzielczym nie odnotowano w czasie przeprowadzania pomiarów prędkości większej od 1,0 m/s, a więc nie doszło do zerwania osadu z sieci wodociągowej. Przekroczenie tego progu prędkości przepływu doprowadziłoby do zmian jakościowych wody spowodowanych wypłukaniem z rurociągów luźnych osadów [5]. Wyniki (rys. 2) wykazały bardzo duży wpływ czasu otwarcia hydrantu na parametry jakościowe wody. Czynnikiem ten nie miał wpływu na pH, barwę i przewodność elektryczną. Natomiast w przypadku mętności, żelaza ogólnego oraz liczby mikroorganizmów po 68 godzinach obserwowano zmniejszenie wartości od czasu otwarcia przepływu wody.



Rys. 2. Wykres zmienności parametrów wody pobieranej na węźle hydrantowym

Fig. 2. Parameter variability of water taken from a hydrant

Na podstawie danych z rysunku 2 uznano, iż w dalszym toku badań uwzględnić należy tylko próbki wody pobrane z przyłączy, w których zapewniony jest cykliczny przepływ wody związany z poborem na cele konsumpcyjne przez odbiorcę zasilanego danym przyłączem. Węzły hydrantowe uruchamiane są sporadycznie w ciągu roku w ramach działań prewencyjnych prowadzonych przez służby techniczne eksploatatora czy też straż pożarną w związku z działalnością przeciwpożarową [6]. Stagnacja wody w tak krótkim odcinku, jaki stanowi odejście hydrantowe, generuje znaczne pogorszenie jakości wody [7]. Wykorzystanie hydrantu do celów analizy jakości wody w sieci nie pozwala na miarodajne określenie jej stanu faktycznego, dochodzi bowiem do wypłukiwania nagromadzonych w węźle hydrantowym osadów, czego konsekwencją jest dynamiczna zmienność badanych parametrów.

2. Obiekt badań

Badania przeprowadzono dla dwóch niezależnych fragmentów sieci wodociągowej, znacznie zróżnicowanych ze względu na gęstość przyłączy (szt./km sieci),

a zatem o odmiennym profilu rozborów godzinowych (rys. 3). Pierwszy z rurociągów (oznaczony jako A) to fragment sieci magistralno-rozdzielczej w zakresie średnic DN100 - DN600 z przewagą rurociągów z żeliwa szarego, drugi (oznaczony jako B) to sieć rozdzielcza DN100 - DN150 wykonana głównie z PCV. Szczegółowe zestawienie materiałowe dla odcinków rurociągów A i B z uwzględnieniem ich długości zamieszczono w tabeli 1.



P - punkt początkowy (stacja uzdatniania wody)

1,2,3,4 - wyznaczone punkty poboru próbek na sieci wodociągowej

Rys. 3. Schemat wytypowanych odcinków sieci wodociągowej

Fig. 3. Schematic diagram of the selected water supply network sections

Wszystkie pobory próbek wykonane zostały tego samego dnia w punktach oznaczonych na mapach (P, 1, 2, 3, 4). Doświadczenie zrealizowano zgodnie z wytycznymi dotyczącymi poboru oraz transportu próbek wody przeznaczonych do badań laboratoryjnych. Kluczową kwestią było obliczenie wieku wody, czyli czasu przepływu pomiędzy wyznaczonymi punktami. Z uwagi na brak modelu matematycznego posłużono się przy tym danymi z monitoringu sieci, które pozwoliły ustalić wielkość przepływu na wyjściu ze stacji uzdatniania wody. Początkowy przepływ sukcesywnie zmniejszano o wielkość rozborów na sieci dzięki danym bilingowym. Pozwoliło to otrzymać rozkład poziomu retencji (przytrzymania) wody przez dany rurociąg.

Tabela 1. Zestawienie parametrów technicznych rurociągów A i B

Table 1. Technical parameters of the pipelines A and B

RUROCIĄG A			
Odcinek	Długość m	Średnica, mm / Materiał	Zagęszczenie przyłączy szt./km sieci rozdzielczej
P-1	4512	500 / żeliwo szare	0
1-2	2841	600 / żeliwo szare	0
2-3	2781	600 / żeliwo szare	0
3-4	4649	225 / PCV - 64% 150 / Żeliwo - 22% 110 / PCV - 14%	193
Łącznie	14783		
RUROCIĄG B			
Odcinek	Długość m	Średnica, mm / Materiał	Zagęszczenie przyłączy szt./km sieci rozdzielczej
P-1	5046	160 / PCV	96
1-2	3446	110 / PCV	53
2-3	3147	100 / żeliwo szare	56
Łącznie	11639		

Tabela 2. Obliczenia wieku wody w rurociągach A i B

Table 2. Calculations of age of water in the pipelines A and B

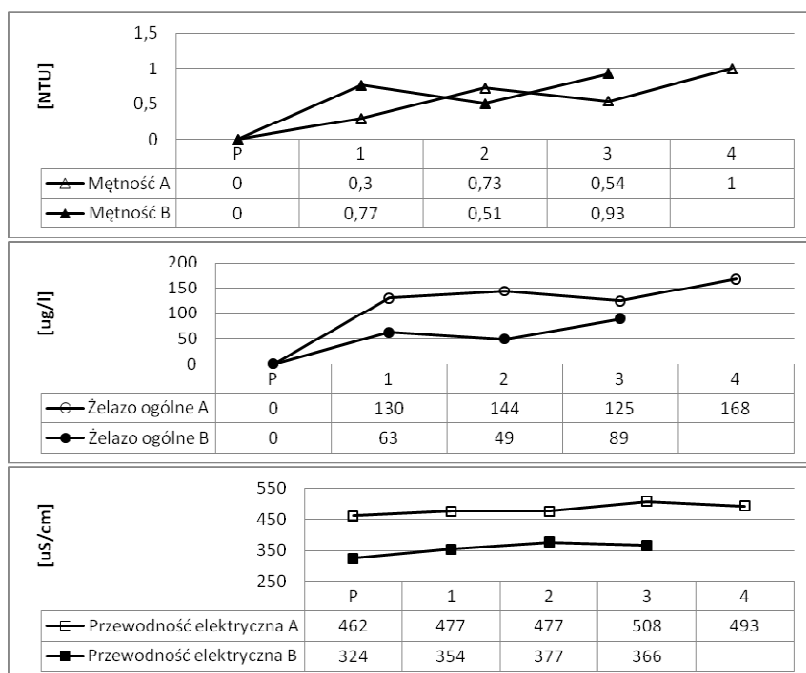
RUROCIĄG A							
Pkt	Odległość do następnego punktu pomiarowego m	Średnica nominalna wodociągu za punktem mm	Pole powierzchni przekroju poprzącznego m ²	Przepływ wody za punktem m ³ /h	Prędkość za punktem m/h	Przyrost wieku wody pomiędzy punktami h	Wiek wody narastająco h
P	4512	500	0,196	130	663	0,00	0,00
1	2841	600	0,283	110	389	6,81	6,81
2	2781	600	0,283	100	353	7,30	14,11
3	4649	200/150/100	0,235	20	235	7,88	21,99
4	–	–	–	–	–	19,78	41,77
RUROCIĄG B							
P	5046	150	0,070	15,00	214	0,00	0,00
1	3446	100	0,030	6,38	213	23,58	23,58
2	3147	100	0,030	3,14	105	16,18	39,76
3	–	–	–	–	–	29,97	69,73

Ustalony przez Water Industry Database na podstawie danych z ponad 800 przedsiębiorstw wodociągowych z całego świata zalecany dopuszczalny czas retencji

wynosi 40 godzin. Ta sama organizacja podaje, iż dopuszczalny wiek wody to 72 godziny [8]. W rozpatrywanym przypadku dla rurociągu A wyniósł on nieco ponad 40, a dla drugiego niespełna 70 godzin. Pozwala to przypuszczać, iż parametry jakościowe wody, zwłaszcza w przypadku wodociągu B, mogły ulec znacznemu pogorszeniu. Powyższe założenie należy zatem zweryfikować w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych.

3. Wyniki badań

Zrealizowane badania potwierdzają, iż istotnej zmianie uległy zwłaszcza mętność, poziom żelaza ogólnego, przewodność elektryczna oraz liczba mikroorganizmów (rys. 4). Badania nie wykazały w żadnej próbce obecności bakterii z grupy coli oraz enterokoków. Parametry takie jak pH czy barwa nie wykazują zauważalnej zmienności wynikającej z wieku wody czy też wpływu pozostałych czynników. Szczególnie zauważalny jest natomiast podobnie ukierunkowany przyrost mętności, zawartości żelaza oraz przewodności elektrycznej.



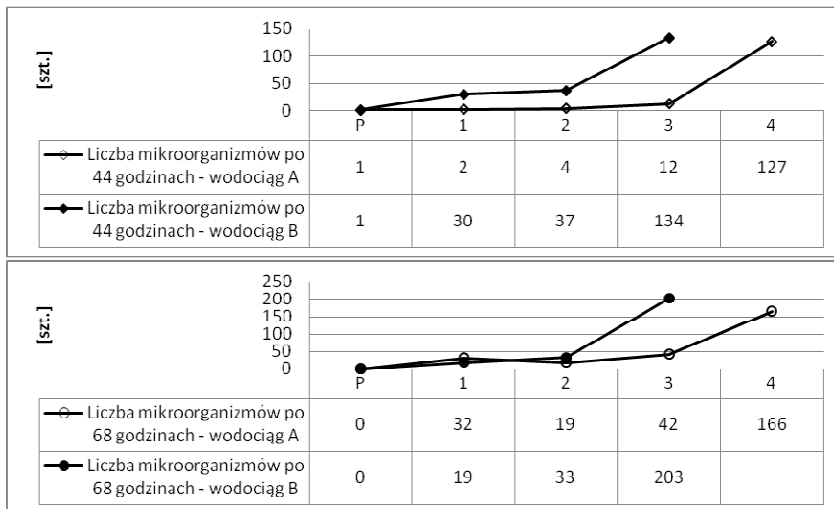
Rys. 4. Wykres zmienności poziomu wybranych wskaźników fizykochemicznych wody

Fig. 4. Variability of selected physical and chemical water indicators

Najwyższy przyrost wartości wspomnianych parametrów odnotowano na początkowych odcinkach badanych rurociągów, gdzie osiągnięto największe prędkości przepływu. Świadczyć to może o tym, iż w wyniku przyrostu prędkości liniowej

zwiększa się asymilacja zanieczyszczeń przez transportowaną wodę. Sytuacja odwrotna, związana ze spadkiem prędkości, potęguje gromadzenie się oraz tworzenie twardych osadów. W trakcie poboru próbek oraz na kilka dni przed jego rozpoczęciem rurociągi nie były poddane płukaniu ani innym zdarzeniom powiązanym ze wzrostem prędkości przepływu (jak np. efekt zamknięcia i napełnienia sieci po awarii). Przyjąć zatem należy, że uzyskane wyniki określają jakościowo wodę przepływającą przez układ pracujący stabilnie i znajdujący się w stanie pełnej sprawności technicznej.

Analizując wyniki badań mikrobiologicznych wody, zauważyć można bardzo dynamiczny przyrost liczby mikroorganizmów w końcowych odcinkach rurociągów, a więc tam, gdzie jest wysoki czas retencji wodnej. Wnioskować należy zatem, iż to właśnie wiek wody jest czynnikiem najistotniejszym dla ograniczenia nadmiernego rozwoju mikroorganizmów w sieciach wodociągowych. Jest to zauważalne dla liczby mikroorganizmów zidentyfikowanych po upływie 44 (temp. 36°C) i 68 (w temp. 22°C) godzin od momentu poboru próbek.



Rys. 5. Wykres zmienności liczby mikroorganizmów w badanych próbkach wody

Fig. 5. Variability of the microorganisms number in the water samples

Podsumowanie

1. Łączna długość sieci wodociągowej eksploatowanej przez PWiK Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie wynosi obecnie 2371 km. Mając na uwadze rozległy charakter układu (zasilany obszar to ok. 1000 km²), istotną kwestią staje się monitorowanie parametrów pracy układu pod kątem jakości wody.
2. Na przykładzie rurociągów wytypowanych do badań można zauważyć, że mętność, zawartość żelaza ogólnego i przewodność elektryczna zmieniają się

- w zależności od prędkości przepływu wody, która to nie ma z kolei większego wpływu na liczbę obecnych w wodzie mikroorganizmów. Powiązany jest z nią natomiast czas retencji jako czynnik niezbędny do przebiegu procesów związanych z rozwojem mikroorganizmów.
3. Układ dystrybucji wody zmienia się poprzez budowę nowych i przebudowę istniejących odcinków sieci. Wpływa to na parametry hydrauliczne, a zatem również na jakość wody. Na etapie tworzenia dokumentacji technicznej projektowanych rurociągów uwzględnia się konieczność zapewnienia dostaw wody dla najbardziej niekorzystnych punktów sieci w sposób zgodny z przepisami [9]. Pomija się jednak wpływ inwestycji na zmiany jakościowe wody powiązane z prędkością przepływu i czasem retencji. Ponieważ niekorzystne zmiany parametrów hydraulicznych są problemem eksploatatora (a nie projektanta), to konieczne jest opracowanie modelu matematycznego, który pozwoli wyznaczyć miejsca na sieci charakteryzujące się najwyższym czasem retencji wody [10].
 4. Wyniki badań wskazały na bardzo wyraźny trend rozwoju mikroorganizmów wraz z wiekiem wody. Jak wcześniej wspomniano, doświadczenie zostało przeprowadzone w warunkach normalnej pracy sieci wodociągowej, dając rzeczowy obraz parametrów wody dostarczanej do odbiorców. Zalegający w przewodach biofilm może maskować realny wzrost mikroorganizmów związany z wiekiem wody [11]. W związku z powyższym wartę uwagi jest rozważenie realizacji podobnego doświadczenia w warunkach wypłukanej sieci wodociągowej z wstępnym poborem próbek w punktach referencyjnych.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- [2] Murray R., Haxton T., Janke R., Hart W.E., Berry J., Phillips C., Water quality event detection systems for drinking water contamination warning systems - development, testing, and application of CANARY - Technical Report, U.S. EPA, 2010. EPA/600/R-10/036.
- [3] Balcerzak W., Bąk J., Zjawiska kontaminacji wody w systemie jej dystrybucji, Symposium Ogólnokrajowe Hydroreprezentacja VIII 2005, Ustroń 2005, 183-192.
- [4] Świdarska-Bróz M., Skutki braku stabilności biologicznej wody wodociągowej, Ochrona Środowiska 2003, 25, 4, 7-12.
- [5] Tataro M., Wtórne zanieczyszczenia wody wodociągowej podczas jej dystrybucji w aspekcie pogorszenia fizykochemicznej jakości wody, GWiTS 2001, 6, 201-205.
- [6] Dohnalik P., Jędrzejewski Z., Efektywna eksploatacja wodociągów - ograniczenie strat wody, Wydanie I, Lemtech Consulting, Kraków 2004.
- [7] Sawiniak W., Kłós M., Wpływ korekty odczynu wody na szybkość korozji rurociągów stalowych, Seminarium Utrzymanie jakości wody w sieci wodociągowej w świetle najnowszych krajowych uregulowań prawnych oraz dyrektyw Unii Europejskiej, Gdańska Fundacja Wody 2001, Gdańsk - Sobieszewo, 1-9.
- [8] U.S. Environmental Protection Agency, Effects of Water Age on Distribution System Water Quality, August 15, 2002.

- [9] Cruickshank J.R., Hydraulic models shed light on water age, *Opflow Magazine*, American Water Works Association, June 2010, 36, 6, 18-21.
- [10] Sowiński J., Srogosz M., Analiza skutków łączenia lokalnych sieci wodociągowych, *Inżynieria Ekologiczna* 2011, 26.
- [11] Kowal A., Przyczyny i zapobieganie zmianom jakości wody w systemach wodociągowych, *Ochrona Środowiska* 2003, 4, 3-6.

Variability in the Quality Parameters of Drinking Water in a Distribution System

The quality of water in distribution system varies under the influence of many factors. Treated water forced into the water-pipe network is secondarily contaminated due to, among other things, its contact with the inner pipeline surface and the duration of its holding. The present paper is an attempt to describe the relationship between the variability of water quality parameters and the water retention time. The investigation results presented in the paper are the outcome of an experiment carried out on two sections of the water-pipe network that supplies water to the public in the Czestochowa area. Based on water samples taken by two methods, physicochemical parameters, such as turbidity, overall iron content and electric conductivity, were determined. Within the investigation scope, the total micro-organism count was also determined. The above-mentioned results were related to the water flow velocity and water retention time. Network monitoring data, which defined the initial system operation parameters, were used for calculation. The assigned sampling points divided the pipelines into shorter sections, for which the velocity of flow was determined by the analytical method. GIS system was utilized in the study, whereby the number of water service pipes supplied by a specific network fragment was determined, which, considering the average water consumption per service pipe, allowed the determination of the time of water retention in the water-pipe network pipelines. This study should be considered the first stage. Within the next stage, a hydraulic model will be developed for a larger water-pipe network extent to determine the points characterized by the longest water retention time. The target of the study is to make the correction to the system work, involving, inter alia, changing the extent of zones or their combination, and estimating the effect of water retention time on the quality of water supplied to the consumers, especially at the most unfavourable points of the network. The number of so-called terminals in the system under consideration is augmented in view of the division of the water-pipe network due to considerable differences in altitude in the area, reaching up to 170 m between the lowest and the highest points of the system. The above considerations have created the need for designing 37 pressure zones, the consequence of which is the division of the ring-shaped supply system in a considerable number of nodes. The tool implemented based on the study will make it possible to estimate the influence of the flow rate and age of water on the adverse quality changes of the water. The acquired knowledge will be used at the stage of agreements concerning either the development or redevelopment of the water pipes in the system of a total length of nearly 2400 km.

Keywords: water quality, age of water