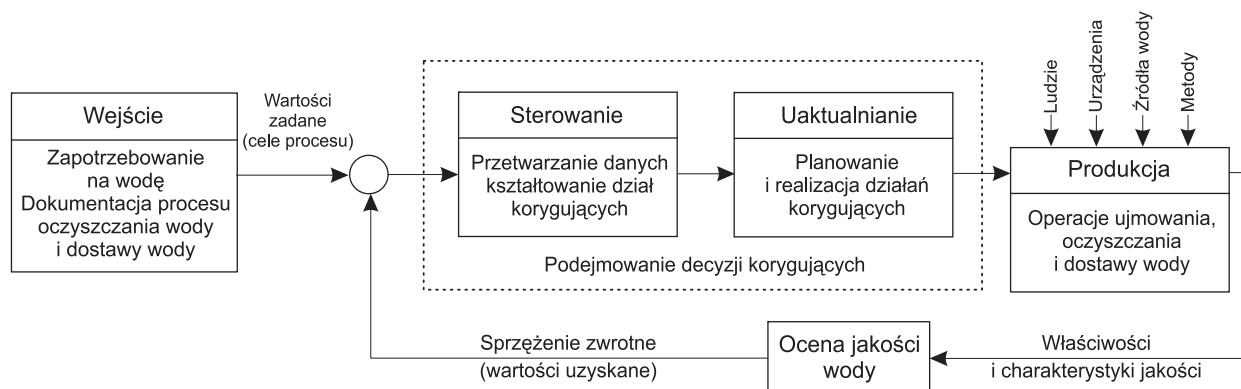


Dariusz Kowalski

Zarządzanie jakością wody w systemie wodociągowym

Wraz z rozwojem zakładów przemysłowych stopniowo wykształcały się systemy zarządzania jakością ich produkcji. [1]. Jeszcze na przełomie lat 40. i 50. XX w. działania związane z zapewnieniem jakości utożsamiano głównie z organizacją kontroli części podzespołów i wyrobów końcowych. Takie podejście powodowało duże straty, gdyż często wadliwa okazywała się cała partia wyrobów. Z czasem działaniami kontrolnymi zaczęto obejmować cały proces produkcyjny. Zmieniono również charakter działań pro jakościowych – dzięki analizie przyczyn i działaniom korygującym można było poświęcić więcej uwagi zapobieganiu błędom aniżeli ich wykrywaniu.

i wyrażających zamierzenia oraz kierunki działań kierownictwa i pracowników w zakresie jakości [7]. Zarządzanie jakością obejmuje takie elementy, jak planowanie strategiczne, rozmieszczenie zasobów, planowanie jakości, prowadzenie prac, nadzorowanie, ocenę jakości, a także inne systematyczne działania na rzecz jakości. W procesie zarządzania jakością wody, podobnie jak w przypadku innej produkcji przemysłowej, niezwykle istotny jest ogół czynności określanych jako nadzorowanie. Opierając się na podstawach teoretycznych procesu zarządzania produkcją [1], na rysunku 1 przedstawiono jego ogólny schemat w odniesieniu do przedsiębiorstw wodociągowych.



Rys. 1. Ogólna struktura nadzoru w procesie ujmowania, oczyszczania i dostawy wody
Fig. 1. General structure of supervision in the processes of water intake, treatment and supply

Podobny proces ewolucyjny zachodził w zarządzaniu systemami wodociągowymi. Początkowo brak było jakichkolwiek działań kontrolujących jakość wody wprowadzanej do systemu [2]. Po serii epidemii spowodowanych złą jakością ujmowanej wody wprowadzono pierwsze kontrole jakości wody, które były nierozdzielnie związane z wdrożeniem działań korygujących – przede wszystkim dezynfekcji. Obecnie, podobnie jak to ma miejsce w innych przedsiębiorstwach produkcyjnych, kontrolą objęty jest cały proces ujmowania, oczyszczania i dostawy wody do odbiorców. Kontrola ta obejmuje m.in. jakość wody, traktowanej jako główny „produkt” zakładu wodociągowego. Prowadzone działania kontrolne obwarowane są tu dodatkowo szeregiem aktów prawnych [3–6].

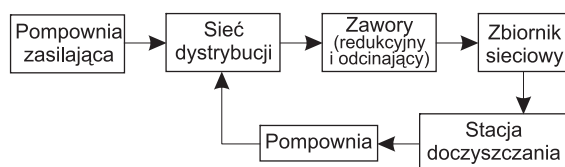
Stopniowo kontrola jakości wody zaczęła przekształcać się w system zarządzania jej jakością. Proces ten, to coś więcej niż tylko kontrola i sterowanie układem. Należy przez niego rozumieć ogół funkcji zarządzania, określających

Do realizacji zadań i osiągnięcia celów dotyczących jakości konieczne jest dysponowanie odpowiednim zasobem instrumentów, pozwalających oddziaływać na jakość na wszystkich etapach ujmowania, oczyszczania i dostawy wody. Zgodnie z tym stwierdzeniem, opracowano cały szereg metod i środków technicznych. Największym zainteresowaniem badaczy cieszy się ogół procesów związanych z ujmowaniem wody, jej oczyszczaniem i wprowadzeniem do systemu dystrybucji [8,9]. W dalszej kolejności obejmuje ono warunki hydrauliczne panujące w sieci dystrybucji wody [10–12], oddziaływanie wody z materiałami przewodów [13,14] oraz osadami zdeponowanymi w tych przewodach [15–18]. Analizując powszechnie stosowane przez przedsiębiorstwa wodociągowe środki techniczne i metody postępowania warto zauważyć, że niezależnie od przyjętego rodzaju działań korygujących następuje utrata części wody znajdującej się w systemie wodociągowym. Pośród opracowanych dotychczas metod zbyt mało jest także działań korygujących, właściwych procesowi dostawy wody. Większość z nich ograniczona jest do płukania i czyszczenia przewodów wodociągowych. Odpowiada to

sposobowi postępowania obejmującemu jedynie kontrolę jakości większych podzespołów i wyrobów końcowych, z początków wdrażania systemów kontroli jakości w przemyśle. Sytuacja ta spowodowała poszukiwanie innych środków i metod umożliwiających aktywne oddziaływanie na jakość wody w systemie wodociągowym. W artykule przedstawiono dwie takie metody – wykorzystujące zbiorniki sieciowe oraz sieciowe stacje płukania i doczyszczania wody.

Wykorzystanie zbiorników sieciowych

U podstaw tej metody leży powszechnie znany fakt wzrostu prędkości przepływu w przewodach sieci dystrybucji wody w czasie napełniania zbiorników sieciowych, leżących z dala od punktu zasilania. Zjawisko to można wykorzystać do korygowania jakości wody zgromadzonej w przewodach. W tym celu system wodociągowy należy zmodernizować, wyposażając go w dodatkową stację doczyszczania wody i stację pomp zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika, co schematycznie przedstawiono na rysunku 2.

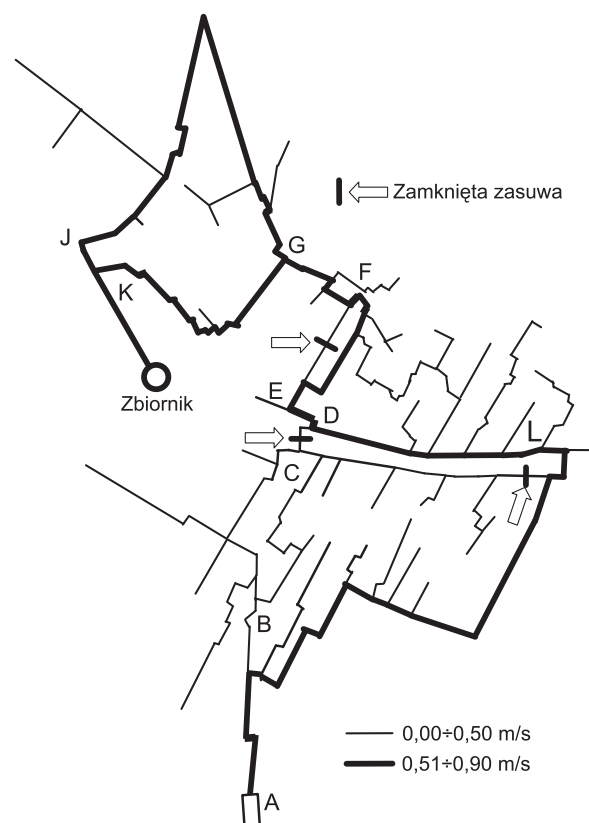


Rys. 2. Schemat modernizacji systemu wodociągowego z zastosowaniem zbiornika sieciowego jako elementu korygowania jakości wody w sieci [19]

Fig. 2. Modernization of the water distribution system by the use of the network's storage tank as an element of correcting water quality in the network [19]

W proponowanej koncepcji założono, że napełnianie zbiornika będzie się odbywać cyklicznie lub okresowo, w sytuacji stwierdzenia pogorszenia jakości wody w sieci. Woda zgromadzona w przewodach sieciowych zostanie przetransportowana do zbiornika, skąd po doczyszczeniu może być skierowana ponownie do sieci. Po napełnieniu zbiornika, sieć dystrybucji wody będzie zasilana zarówno z niego, jak i z dotychczas wykorzystywanego źródła. Ważne jest, aby objętość zbiornika była większa lub równa objętości wody zgromadzonej w przewodach sieciowych, które go zasilają. Zadaniem zaworu redukcyjnego jest regulacja intensywności napełniania zbiornika i utrzymania wymaganej wysokości ciśnienia przed zbiornikiem w czasie jego napełniania, natomiast zawór odcinający pozostaje otwarty tylko w czasie napełniania (rys. 2). Należy zauważyć, że im większa jest intensywność napełniania zbiornika, tym większe będzie prawdopodobieństwo osiągnięcia w przewodach wodociągowych prędkości płukania. Rozwiązanie to pozwala niejako odzyskać w systemie dystrybucji wodę traconą w dotychczasowych procesach korygowania jakości. Połączenie proponowanego systemu z wymuszeniem ukierunkowanego przepływu pozwala również na przeciwdziałanie skutkom przewymiarowania przewodów, zwiększając czasowo prędkość przepływu wody w wybranych odcinkach sieci. Przykładowe rozwiązanie tego typu przetestowano na bazie obliczeń symulacyjnych w warunkach jednostki osadniczej liczącej ok. 4 tys. mieszkańców [20]. Obliczenia wykonano za pomocą programu EPANET 2 [21]. W czasie obliczeń nastawy zaworu redukcyjnego przy zbiorniku sieciowym przyjęto założenie, że wysokość ciśnienia w sieci nie może spaść w żadnym węźle o więcej

niż $5 \text{ mH}_2\text{O}$ w stosunku do czasu poza napełnianiem zbiornika. Przedstawione w artykule [20] wyniki badań symulacyjnych wykazały, że rozpatrywana sieć pracuje w warunkach znacznego przewymiarowania. W godzinie maksymalnego poboru wody około 20% przedstawionych na rysunku 3 odcinków wykazało prędkość przepływu wody poniżej $0,01 \text{ m/s}$. Największa obliczona prędkość wyniosła $0,39 \text{ m/s}$ (odc. pompownia A – pkt. B), a w pozostałych odcinkach nie przekraczała $0,2 \text{ m/s}$. Włączenie do systemu zbiornika końcowego zmieniło tę sytuację. Na rysunku 3 przedstawiono rozkład prędkości w czasie napełniania tego zbiornika (w tym przypadku zaproponowano włączenie do systemu kolejowego zbiornika wieżowego). Poprzez regulację zasuwy sieciowymi możliwe było wymuszenie ukierunkowanego przepływu, pozwalające zasilać zbiornik wybraną drogą. W przypadku przedstawionym na rysunku 3 zamknięto trzy takie zasuwy (w sąsiedztwie pkt. C, E oraz L). Uzyskane prędkości przepływu na założonej trasie przesyłu wody do zbiornika osiągnęły $0,8 \text{ m/s}$ na odcinku A–L oraz $0,7 \text{ m/s}$ na odcinku L–zbiornik sieciowy.



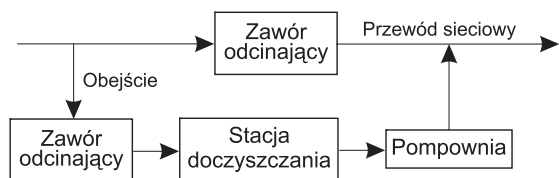
Rys. 3. Prędkość wody w przewodach w czasie napełniania zbiornika (przykład trasy transferu wody) [20]

Fig. 3. Water flow velocity in the water-pipe network during storage tank filling (example of water transfer) [20]

Wykorzystanie sieciowych stacji doczyszczania wody

W przypadku braku końcowych zbiorników sieciowych, w celu umożliwienia korygowania jakości wody zgromadzonej w sieci, można zastosować sieciowe stacje doczyszczania wody, np. wg schematu przedstawionego na rysunku 4.

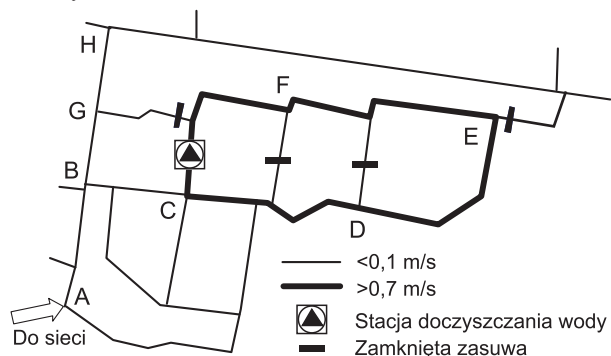
Proponowaną sieciową stacją doczyszczania wody można zabudować na obejściu przewodu sieciowego. Po zamknięciu zaworu na sieci i otwarciu zaworu na obejściu całość wody będzie przepływać przez stację doczyszczania



Rys. 4. Schemat modernizacji systemu wodociągowego z zastosowaniem stacji doczyszczania jako elementu korygowania jakości wody w sieci [22]

Fig. 4. Modernization of the water distribution system by using the cleansing and flushing station as an element of correcting water quality in the network [22]

wody. Zintegrowana z nią pompownia powinna kompensować powstałe w trakcie doczyszczania wody straty ciśnienia. W efekcie możliwe staje się korygowanie jakości wody przepływającej przez stację. Proponowana koncepcja, obok korekty jakości wody, ogranicza również straty wody dotychczas nierozzerwalnie związane z tym procesem (np. w czasie płukania przewodów). W przypadku lokalizacji proponowanej sieciowej stacji doczyszczania wody w pierścieniowym układzie sieci, pojawia się możliwość jej wykorzystania do płukania przewodów. Procesem płukania można sterować poprzez wymuszenie ukierunkowanego przepływu. Koncepcję taką przetestowano wykorzystując symulację komputerową fragmentu sieci miasta liczącego ok. 50 tys. mieszkańców. Podobnie jak poprzednio, symulację przeprowadzono za pomocą programu EPANET 2. Do obliczeń przyjęto opór hydrauliczny stacji w wysokości 15 m H₂O, przy czym zdolność przepustowa stacji nie była ograniczana. Wyniki przykładowych obliczeń przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Prędkość przepływu wody w badanym fragmencie sieci wodociągowej (godz. 02:00, po uruchomieniu stacji doczyszczania i pomp płuczających)

Fig. 5. Water flow velocity in the investigated segment of the municipal water-pipe network chosen (at 2.00 a.m., after starting the flushing station and flushing pumps)

Badania symulacyjne wykazały, że w godzinie maksymalnego poboru prędkość przepływu wody w badanym fragmencie sieci wahała się od 0,25 m/s (odcinki A–D, F–G oraz H–I) do 0,1 m/s (pozostałe odcinki). Wyniki te mogą wskazywać na przewymiarowanie badanego fragmentu sieci. Przedstawiony na rysunku 5 rozkład prędkości w warunkach funkcjonowania stacji doczyszczania wody z przykładową konfiguracją zamkniętych zasuw sieciowych wskazuje, że istnieje przynajmniej teoretyczna możliwość zastosowania proponowanej metody do płukania fragmentów sieci wodociągowej. Płukanie takie odbywałoby się przy znacznym ograniczeniu strat wody. Ograniczeniem stosowania tej metody są jednak rozmiary filtrów stacji doczyszczania, ich oporność hydrauliczna oraz wydajność. Interesującym rozwiązaniem pod tym względem może okazać się zastosowanie filtrów fluidalnych [23].

Podsumowanie

Procesy ujmowania, oczyszczania i dostawy wody mogą – pod niektórymi względami – być traktowane jak inne procesy przemysłowe. Podlegają one tym samym regułom zapewnienia jakości produktu. Zarówno wymagania użytkowników systemów wodociągowych, jak i obowiązujące przepisy wymuszają stosowanie systemu zarządzania jakością wody. System ten obejmuje cały szereg działań, od obliczeń zapotrzebowania na wodę i przygotowania odpowiedniej dokumentacji układu wodociągowego, po działania korygujące jakość wody w sieci. Przedstawione rozważania wskazują, że działania korygujące sprowadzały się dotychczas głównie do elementów związanych z wprowadzaniem wody do sieci oraz planowym lub incydentalnym płukaniem i czyszczeniem przewodów. W procesie korygowania wciąż jednak zbyt mało jest środków umożliwiających korektę jakości wody znajdującej się w sieci dystrybucji. Brakuje też takich, które nie powodowałyby jednocześnie znaczących strat wody. Brak ten uniemożliwia pełne i powszechne wdrożenie systemu zarządzania jakością wody w przedsiębiorstwach wodociągowych.

Wstępne badania symulacyjne koncepcji dwóch metod korygowania jakości wody w sieci dystrybucji – wykorzystującej zbiorniki sieciowe oraz sieciowe stacje płukania i doczyszczania wody – pokazały, że ich zastosowanie może przynieść oczekiwane skutki korygujące. Wydaje się również, że zastosowanie tych metod może rozszerzyć zasób środków służących przeciwdziałaniu skutkom przewymiarowania przewodów sieci wodociągowej. Znaczącym ograniczeniem zastosowania obu metod są jednak problemy ze znalezieniem filtrów stanowiących część procesu korygowania jakości wody. Filtry takie powinny charakteryzować się dużą skutecznością i przepustowością, przy jednocześnie niewielkich oporach hydraulicznych. Rozwiązaniem problemu mogą okazać się filtry fluidalne, co jednak wymaga dalszych badań.

Artykuł powstał w ramach realizacji grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr NN 523 494234.

LITERATURA

1. S. PŁASKA: Wprowadzenie do statystycznego sterowania procesami technologicznymi. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2000.
2. M.M. SOZAŃSKI [red.]: Wodociągi i kanalizacja w Polsce. Tradycja i współczesność. Poznań–Bydgoszcz 2002.
3. Guidelines for Drinking-water Quality. WHO, Geneva 2004.
4. Dyrektywa Rady Unii Europejskiej nr 98/83/EC. Jakość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Official Journal of the European Communities* 1998, No. L. 330.5.12.98, pp. 32–54.
5. Ustawa z 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. Tekst jednolity z 2006 r. DzU nr 123, poz. 858.
6. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. DzU nr 61, poz. 417.
7. Norma EN-PN ISO 8402:1996. Zarządzanie jakością i zapewnienie jakości. Terminologia.
8. A.L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Oczyszczanie wody. Podstawy teoretyczne i technologiczne, procesy i urządzenia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
9. M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Skutki braku stabilności biologicznej wody wodociągowej. *Ochrona Środowiska* 2003, vol. 25, nr 4, ss. 7–12.

10. A.L.KOWAL: Przyczyny i zapobieganie zmianom jakości wody w systemach wodociągowych. *Ochrona Środowiska* 2003, vol. 15, nr 4, ss. 3–6.
11. M. KULBIK: Computer simulation and field investigations of municipal water distribution systems. Gdańsk University of Technology, Gdańsk 2004.
12. R. PRINCE, I. GOULTER, G. RYAN: What causes customer complaints about discoloured water. *Wat. Res.* 2003, Vol. 30, pp. 62–67.
13. M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Niepożądane zmiany jakości wody podczas jej oczyszczania i dystrybucji. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2001, vol. 4, nr 3–4, ss. 275–287.
14. B. KOWALSKA, D. KOWALSKI, M. KWIETNIEWSKI: Wymywanie związków organicznych w sieciach wodociągowych wykonanych z PVC. *Instal* 2009, nr 4, ss. 42–46.
15. M.J. LEHTOLA, T.K. NISSINEN, I.T. MIETTINEN, P.J. MARTIKAINEN, T. VARTIAINEN: Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality. *Water Research* 2004, Vol. 38, No. 3, pp. 601–610.
16. A. GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA: Microbial contamination of drinking water distribution systems: problems and solutions. European Centre of Excellence CEMERA, Politechnika Warszawska, Warszawa 2005.
17. J. ŁOMOTOWSKI: Stabilność biologiczna wody w przewodach z tworzyw sztucznych. Mat. konf. „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych 07”, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Szczyrk 2008, ss. 37–46.
18. J.H.G. VREEBURG, J.B. BOXALL: Discolouration in potable water distribution systems: A review. *Water Research* 2007, Vol. 41, pp. 519–529.
19. D. KOWALSKI, B. KOWALSKA: Sposób i układ gromadzenia wody użytkowej w sieciach osiedlowych. Zgłoszenie patentowe nr P 378381, Urząd Patentowy RP, 2005.
20. K. BONETYŃSKI, D. KOWALSKI, B. KOWALSKA, A. MUSZ: Koncepcja strefowania niewielkiej sieci wodociągowej z wykorzystaniem istniejącego zbiornika wieżowego. Mat. konf. „Eksploracja wodociągów i kanalizacji – GIS, modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociagowymi i kanalizacyjnym”, PZITS, Politechnika Warszawska, Saur Neptun Gdańsk SA, Warszawa 2007, ss. 163–176.
21. L.A. ROSSMAN: Epanet 2. Users Manual. EPA/600/ R-00/057, 2000.
22. D. KOWALSKI, B. KOWALSKA, D. CHMIEL, P. HARMYSZCZAK: Sposób i układ płukania sieci wodociągowej. Zgłoszenie patentowe nr P 378383, Urząd Patentowy RP, 2005.
23. M. HIROL, D. KOWALSKI, A. HIROL, B. YAKIMCHYK: Przykład zastosowania filtrów ze złożem pływającym w układzie technologicznym dekarbonizacji wody rzecznej. Mat. konf. „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych 07”, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Szczyrk 2008, ss. 343–354.

Kowalski, D. Water Quality Management in a Water Distribution System. *Ochrona Środowiska* 2009, Vol. 31, No. 3, pp. 37–40.

Summary: In this paper a water company is considered to be a production plant, where water is the main product, and the problem of supplying the user with water of the quality desired constitutes an important part of the production process. The processes of water intake, treatment and supply are made subject to planning, control, analysis and corrective actions. In most instances, corrective actions are taken at the input of the water-pipe network. Water quality correction in the water-pipe network generally includes pipe cleansing and flushing. In consequence, when the water fails to meet the required quality parameters, or when there is a need to flush the pipes, a major part of the water

volume stored in the pipeline will be lost. In the paper two methods have been proposed for correcting water quality in the water distribution system, which enable the potential water loss to be reduced. One of these makes use of the storage tanks; the other one uses the network's cleansing and flushing stations. The applicability of the methods to the process of water quality management was tested by computer simulations, choosing two municipal water distribution systems as cases in point. The results suggest that the two methods will not only enable a correction of water quality in the distribution network, but also help reduce the implications of overdesign.

Keywords: Tap water, water quality, quality management, water-pipe network, corrective actions.