

Ewa OCIEPA¹, Maciej MROWIEC¹ i Iwona DESKA¹

STRATY WODY W SYSTEMACH DYSTRYBUCJI - PRZYCZYNY, OKREŚLANIE, DZIAŁANIA NA RZECZ OGRANICZANIA

WATER LOSS IN DISTRIBUTION SYSTEMS - CAUSES, DETERMINATION, ACTION TO REDUCE

Abstrakt: W artykule, na podstawie analizy badań krajowych i zagranicznych, przedstawiono różne sposoby określania strat wody. Przeanalizowano i wskazano możliwości ich stosowania. Obecnie zaleca się, aby stosowanie klasycznej metody obliczania wskaźnika procentowego strat uzupełniać o ujednoliconą metodykę proponowaną przez International Water Association (IWA). Podkreślono, że poważnym utrudnieniem w ocenie strat wody jest często ograniczona i niepewna ilość danych, którą dysponują zakłady, a są one niezbędne do obliczenia zalecanych wskaźników wskazujących na stan eksploatowanego systemu dystrybucji. Zaliczyć do nich należy częsty brak pomiarów ilości wody zużywanej na potrzeby własne wodociągu, trudności w szacowaniu nieuniknionych strat rzeczywistych oraz strat pozomych czy braki lub niedokładności inwentaryzacyjne sieci. Wskazano wielokierunkowe działania zakładów doprowadzające do ograniczenia strat. Podstawą działań jest przede wszystkim wdrożenie monitoringu przepływów i ciśnień w sieciach wodociągowych.

Słowa kluczowe: bilans wody, straty wody, monitoring sieci wodociągowych

Wstęp

Poznanie przyczyn wycieków wody, ich wysokości oraz ciągłe działanie na rzecz ich ograniczenia jest jednym z głównych celów zakładów wodociągowych. Straty wody są podstawą oceny działania sieci oraz instalacji i dlatego właściwe określenie ich wartości warunkuje prawidłową eksploatację systemu wodociągowego. W każdym, nawet bardzo poprawnie działającym systemie dystrybucji pewna ilość wody włączona jest tracona i zakłady nie uzyskują przychodów z jej sprzedaży. Poważnym problemem są jednak straty wody stanowiące wysoki procent wody włączanej do sieci. Dlatego też bardzo ważne jest szybkie lokalizowanie i usuwanie wycieków w celu ograniczenia ich do minimalnego poziomu charakterystycznego dla danego systemu dystrybucji wody. Jest to konieczne w celu oszczędzania zasobów wody oraz pozwala na zmniejszenie kosztów jej dostawy [1-4]. Poważną rolę we wdrażaniu najlepszych praktyk z zakresu zrównoważonej gospodarki wodnej, w tym ograniczania strat wody, spełnia International Water Association (IWA) [5-7].

W artykule podano przyczyny awarii przewodów wodociągowych z uwzględnieniem błędów na etapie projektowania, wykonawstwa i eksploatacji. Przedstawiono zasady sporządzania bilansu oraz wskazano trudności w obliczeniu czy ustaleniu jego składników. Przeanalizowano możliwości i ograniczenia stosowania wskaźnika procentowego strat wody (PWS), infrastrukturalnego indeksu wycieków (IIW) i wskaźnika jednostkowych strat wody (RLB). Wskazano najistotniejsze działania prowadzące do ograniczania strat wody w systemach dystrybucji.

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, tel. 34 325 73 34 wew. 49, email: eociepa@is.pcz.czyst.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'15, Jarnołtówek, 14-16.10.2015

Przyczyny uszkodzeń przewodów wodociągowych

Awarie przewodów wodociągowych mają w większości przypadków charakter losowy, a ustalenie przyczyn ich powstania jest często trudne ze względu na różnorodność czynników oddziałujących równocześnie na przewody. Błędne obliczenia hydrauliczne, nieprawidłowe wykonanie złączy czy niedbała konserwacja to tylko przykłady przyczyn późniejszych awarii elementów układów wodociągowych. Liczne badania wskazują, że najczęściej uszkodzenia sieci wodociągowych i związane z tym straty wody powstają w wyniku [1-5]:

- wad zamontowanych materiałów dot. rur, armatury, złączy,
 - nieprawidłowego wykonawstwa przewodów, np. niewłaściwe uszczelnienie połączeń kielichowych,
 - nadmiernego ciśnienia w sieci,
 - gwałtownych zmian ciśnienia (uderzenia hydrauliczne),
 - korozyjności wód gruntowych, a także wody płynącej wewnątrz przewodów,
 - przemarzania gruntu w otoczeniu przewodów wodociągowych,
 - nadmiernego obciążenia gruntu nad sieciami wodociągowymi, szczególnie dynamicznego, osiadania gruntu, ruchów tektonicznych itp.
 - prądów błądzących, na obszarach miast czy zakładów posiadających trakcję elektryczną,
 - wieloletniej eksploatacji i naturalnego zużycia materiałów wodociągowych.
- Według Siwoń i in. [8] o zaistnieniu i objętości wycieków decydują przede wszystkim:
- stan techniczny przewodów i armatury,
 - średnica, wiek i materiał przewodów,
 - gęstość przyłączy i przewodów wodociągowych,
 - ciśnienie wody i jego wahania dobowe,
 - warunki gruntowe.

Należy nadmienić, że straty wody powstają nie tylko w wyniku uszkodzenia, pęknięcia przewodów wodociągowych, wycieków na połączeniach oraz przez nieszczelności rur przesyłowych, ale również w wyniku przelewania się wody ze zbiorników magazynujących wodę lub ich nieszczelności.

Szczegółowa analiza wartości intensywności uszkodzeń sieci wodociągowych przedstawiona w licznych pracach wskazuje, że intensywność uszkodzeń przewodów zależy przede wszystkim od wysokości i wahań ciśnienia wody w sieciach, materiału i średnicy przewodów, czasu eksploatacji i okresu budowy przewodów [9, 10]. Za wysokie ciśnienie może doprowadzić do uszkodzeń złączy, pęknięć przewodów, awarii zasuw i hydrantów. Badania wskazują, że obniżenie ciśnienia w sieci o ok. 0,2 MPa obniżyło 2-krotnie pęknięcia sieci oraz prawie 1,5-krotnie uszkodzenia złączy. Prawdopodobnie tę zaobserwowano niezależnie od wieku i średnicy przewodów, np. obniżenie ciśnienia w sieci wodociągowej w zachodnich osiedlach Wrocławia o ok. 40% spowodowało zmniejszenie intensywności uszkodzeń o ok. 41% [11]. Inne wyniki wskazują, że natężenie wypływu wody przez otwór o określonej średnicy przy ciśnieniu 0,6 MPa jest o 70% wyższe niż przy ciśnieniu 0,2 MPa [6]. Analizując zaś wpływ materiału na awaryjność sieci, badania wskazują, że największą awaryjnością charakteryzują się przewody ze stali i żeliwa szarego, a najmniejszą z tworzyw sztucznych.

Bilans wody i wskaźniki charakteryzujące straty wody

Problem strat wody w systemach wodociągowych jest bardzo istotnym zagadnieniem, ponieważ wielkość strat wpływa na koszt dostarczanej wody i kondycję finansową zakładów wodociągowych, ma również znaczenie dla ochrony zasobów wodnych. Dlatego też zakłady wodociągowe muszą być zaangażowane w wykrywanie wycieków i ograniczanie strat.

Do podstawowych, najważniejszych działań zmierzających do ograniczenia strat wody należy zaliczyć ciągły monitoring strat wody i poprawne opracowanie bilansu wody oraz wyznaczenie pewnych wskaźników opisujących straty wody [6]. Na podstawie wyników bilansu zakłady podejmują decyzję o rozpoczęciu działań mających na celu poszukiwanie i likwidację wycieków wody [12].

Do sporządzenia dokładnego bilansu wody i określenia na jego podstawie całkowitych strat wody konieczne są prawidłowe pomiary:

- ilości wody włoczonej do sieci, która może być sumą wody pobranej z ujęć własnych zakładu, jak również wody zakupionej,
- ilości wody pobranej na potrzeby własne zakładu wodociągowego,
- ilości wody sprzedanej wszystkim odbiorcom.

Jedynie woda dostarczona odbiorcom i zafakturowana na podstawie wskazań wodomierzy lub w sposób ryczałtowy przynosi dochód przedsiębiorstwu. Wielkość strat wody w sieci wodociągowej wynika z różnicy pomiędzy wodą dostarczoną do sieci a wodą sprzedaną i użytą na potrzeby własne wodociągu. Można to wyrazić wzorem:

$$V_{str} = V_{ds} - V_{ts} - V_{sp} \quad (1)$$

gdzie: V_{str} - objętość strat wody w systemie dystrybucji [m^3/rok], V_{ds} - objętość wody dostarczonej do sieci [m^3/rok], V_{ts} - objętość wody zużytej na tzw. potrzeby własne wodociągu, czyli: płukanie sieci, zbiorników, na potrzeby gospodarcze przedsiębiorstwa itp. [m^3/rok], V_{sp} - objętość wody dostarczonej odbiorcom i zafakturowanej [m^3/rok].

Od precyzji, z jaką wykonywane są pomiary poszczególnych składników bilansu, zależy jego dokładność. Mając na uwadze wyposażenie zakładów, dokładność urządzeń pomiarowych, jednocześnie wykonywania pomiarów, praktycznie każdy bilans jest obarczony pewnym błędem.

Należy podkreślić, że na straty całkowite wody składają się straty rzeczywiste i pozorne oraz woda zużywana na własne potrzeby systemu wodociągowo-kanalizacyjnego. Straty rzeczywiste spowodowane są wyciekami wody z sieci i instalacji, armatury, przelewami ze zbiorników wyrównawczych oraz kradzieżami wody. Rzeczywiste straty wody występują także w instalacjach wewnętrznych wskutek przecieków mniejszych od progów rozruchu wodomierzy. Są one efektem przede wszystkim złego stanu technicznego materiału przewodów, złączy i armatury.

Straty pozorne, w przeciwieństwie do rzeczywistych, nie stanowią faktycznych ubytków, a jedynie wpływają na wartość obliczeniowego wskaźnika strat, czyli na wynik liczbowy bilansu objętości wody dostarczonej do sieci i sprzedanej odbiorcom. Przyczyną pozornych strat są niedokładności i niejednoczesności pomiaru dostawy i zużycia wody. Teoretyczny błąd pomiaru powinien wynosić do 10% - w praktyce trudno określić błąd pomiaru przepływomierza. Według Siwoń i in. [8] straty pozorne mogą wynosić ok. 5% w zależności od instalacji i warunków pomiarowych. Wielkość tych strat można

zredukować przede wszystkim poprzez dokładną i systematyczną kontrolę i kalibrację urządzeń pomiarowych oraz likwidację rozliczania ryczałtowego za wodę [7, 13]. Ilość wody zużytej na potrzeby własne wodociągu jest na ogół trudna do dokładnego określenia i w związku z tym często jest określana szacunkowo, a przez część przedsiębiorstw celowo zawyżana dla zmniejszenia wskaźnika strat wody.

Podstawą oceny efektywności pracy wodociągu w zakresie strat wody jest prawidłowe zbilansowanie wody w systemie dystrybucji, ponieważ, jak podaje Hotłoś [11], badania niemieckie dowiodły, że przecieki wody z zewnętrznej sieci wodociągowej stanowią 80-100% rzeczywistych strat wody.

Stosuje się różne wskaźniki pozwalające na wyznaczenie prawidłowej i wiarygodnej oceny strat wody. Do najczęściej stosowanych należy procentowy wskaźnik strat wody (PWS). Wskaźnik ten pozwala na określenie udziału strat wody (V_{str}) w stosunku do objętości wody wtłoczonej (V_{wt}) do sieci wodociągowej. Wyznaczany jest z zależności [7, 9]:

$$PWS = V_{str}/V_{wt} \cdot 100 \quad (2)$$

Według Kwietniewskiego wskaźnik ten powinien być odniesiony do ilości wody sprzedanej i tym samym obliczany ze wzoru [14]:

$$PWS = V_{str}/V_{sp} \cdot 100 \quad (3)$$

Kwietniewski podkreśla, że nierzadko jeszcze można spotkać się z niewłaściwym określeniem strat wody, kiedy do tego celu wykorzystuje się ilość wody niesprzedanej, która jest różnicą pomiędzy ilością wody wtłoczonej do sieci a ilością wody sprzedanej. W takich przypadkach straty wody są tylko częścią wody niesprzedanej, natomiast drugą jej część stanowią potrzeby własne przedsiębiorstwa na obszarze jednostki osadniczej. Ten wskaźnik także jest wyrażany w procentach i określa się go wg formuły (1), w której znika człon V_{is} (objętość wody zużytej na potrzeby własne wodociągu), ponieważ potrzeby własne przedsiębiorstwa są wliczane do objętości wody niesprzedanej odbiorcom [14].

Obecnie uważa się, że procentowy wskaźnik strat wody jest jednak niemiernodajny do oceny strat wody, gdyż nie uwzględnia takich istotnych czynników, jak długość sieci, liczba przyłączy i ich długość oraz ciśnienie i obciążenie hydrauliczne sieci wodociągowej. Można go stosować jako pierwsze przybliżenie oceny strat wody, jak również do oceny zmienności strat wody w dłuższym okresie czasu w tym samym systemie dystrybucji [14, 15]. W badaniach strat wody coraz częściej zaleca się stosować kwantyfikację stref systemu dystrybucji wody w celu wyznaczenia wskaźników strat w różnych rejonach miasta, różniących się pod względem np. ciśnień panujących w sieci oraz materiału i wieku przewodów. Parametry te mają znaczący wpływ na ilości wody utraconej bezpowrotnie z sieci [11]. International Water Association (IWA) zaleca obliczanie strat wody metodami ujednoczonymi, np. proponuje stosowanie infrastrukturalnego indeksu wycieków (IIW) lub wskaźnika jednostkowych strat wody (RLB) [15-18].

Infrastrukturalny indeks wycieku (IIW) określa się ze wzoru:

$$IIW = V_{str}/V_n \quad (4)$$

gdzie V_n - nieuniknione straty wody [m^3 /rok].

Objętość rocznych strat nieuniknionych oblicza się ze wzoru [16-18]:

$$V_n = [18 \cdot (M + R) + 25 \cdot PW + 0,8 \cdot LPW] \cdot 0,365 \cdot p \quad (5)$$

gdzie: M - długość sieci magistralnej [km], R - długość sieci rozdzielczej [km], PW - długość połączeń wodociągowych [km], LPW - liczba połączeń wodociągowych [-], p - średnie ciśnienie w rozpatrywanej pomiarowej strefie [mH_2O], $p = \text{ok. } 40 \text{ mH}_2\text{O}$, $0,365$ - przeliczeniowy współczynnik na rok i m^3 [-].

Wskaźnik IIW przedstawia krotność rzeczywistych strat w sieci wodociągowej do minimalnego poziomu wycieków, jaki może wystąpić w dobrze utrzymanym systemie wodociągowym [14]. Straty nieuniknione ze względów ekonomicznych są nieopłacalne do usunięcia, a wyciek nieunikniony zależy od długości, ciśnienia i awaryjności sieci oraz liczby odbiorców. Należy jednak podkreślić, że ustalenie objętości rocznych strat nieuniknionych dla części zakładów wodociągowych okazuje się trudne lub nawet niemożliwe z uwagi na brak dokładnych danych dotyczących długości sieci magistralnej, rozdzielczej, liczby przyłączy czy ciśnienia panującego w rozpatrywanej strefie pomiarowej.

Wskaźnik IIW pozwala na porównywanie różnych systemów dystrybucji wody. Umożliwia on sklasyfikowanie sieci wodociągowej pod względem stanu technicznego. Pozwala ona na indywidualną ocenę, czy straty w określonych warunkach eksploatacji i przy danym koszcie traconej wody są na poziomie do przyjęcia czy nadmiernym [7].

Poziom wskaźnika IIW określa stan sieci w następujący sposób [7]:

$IIW < 1,5$ - bardzo dobry

$1,5 < IIW < 2,0$ - dobry

$2,0 < IIW < 2,5$ - średni

$2,5 < IIW < 3,0$ - słaby

$3,0 < IIW < 3,5$ - bardzo słaby

$IIW > 3,5$ - zły.

Wskaźnik ten jest obecnie najbardziej skutecznym parametrem oceny efektywności dystrybucji wody, jednakże ma on swoje ograniczenia. Zaleca się bowiem jego stosowanie wtedy, gdy liczba przyłączy jest większa niż 5000, a ich gęstość przekracza 20 na km sieci wodociągowej oraz przy ciśnieniu w sieci co najmniej $0,25 \text{ MPa}$ [14].

Coraz częściej w literaturze podkreśla się, że analiza strat wody powinna być oparta na tak zwanym optymalnym poziomie strat wody w sieci. Zakłady wodociągowe muszą analizować, czy działania prowadzące do wysokiego ograniczania strat wody są opłacalne. Działania uzasadnione ekonomicznie są wówczas, gdy pieniężna wartość strat wody jest wyższa niż koszt ich usunięcia. Można mówić o osiągnięciu przez zakład wodociągowy optymalnego poziomu wycieków, jeśli dostawca wody dostarcza wodę po najmniejszych kosztach eksploatacyjnych i inwestycyjnych. Dlatego też określenie optymalnego poziomu wycieków często wymaga przeprowadzenia dość skomplikowanego bilansu ekonomicznego, który uwzględni koszty ujmowania, uzdatniania i dystrybucji wody oraz koszty aktywnej kontroli i usuwania wycieków, a także koszty zagospodarowania dodatkowych zasobów wody [6, 11]. Ponadto z uwagi na efekty zewnętrzne wycieków wody zaleca się, aby ich dopuszczalny poziom ustalono w kontekście szerszym niż ekonomika przedsiębiorstwa wodociągowego. Straty powinny uwzględniać koszty zasobowe i środowiskowe straconej wody oraz inne koszty powstałe w wyniku wycieków, jak np. osiadanie budynków lub zapadanie dróg, a nawet koszty ponoszone w wyniku korków ulicznych powstałych z powodu usuwania awarii wodociągowych.

Według standardów IWA do oceny strat wody zaleca się również stosowanie wskaźnika jednostkowych strat rzeczywistych *RLB* (real leakage balance) liczonego zgodnie z metodyką przedstawioną poniżej [14]:

- gdy gęstość przyłączy jest mniejsza niż 20 na km sieci wodociągowej, *RLB* [$\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$] oblicza się ze wzoru:

$$RLB = V_{str} (M+R) \quad (6)$$

- gdy gęstość przyłączy przekracza 20 na km sieci wodociągowej, *RLB* [$\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{przyłącze}$, $\text{m}^3/\text{rok}\cdot\text{przyłącze}$] oblicza się ze wzoru:

$$RLB = V_{str}/LWP \quad (7)$$

Należy nadmienić, że w przypadku części systemów dystrybucji wody wyznaczenie tego wskaźnika może sprawić problemy, gdyż konieczne jest dysponowanie dokładnymi danymi inwentaryzacyjnymi sieci.

Działania prowadzące do ograniczania strat wody w systemach dystrybucji

Pierwszym podstawowym działaniem prowadzącym do opracowania planu ograniczenia poziomu wycieków jest ustalenie poziomu i źródeł powstawania faktycznych strat w sieci. W tym celu niezbędna jest systematyczna, strategiczna działalność przedsiębiorstwa polegająca na ciągłym monitoringu strat wody, poprawnie prowadzonym bilansie wody, opracowaniu wskaźników opisujących straty wody. Analizę pracy każdego systemu wodociągowego należy prowadzić indywidualnie, a zadaniem zakładu wodociągowego jest na jej podstawie podejmowanie działań uzasadnionych pod względem technicznym i ekonomicznym. Do najistotniejszych działań należą:

- wdrażanie programów intensywnego poszukiwania przecieków,
- wymiana, renowacja zużytych przewodów wodociągowych,
- montaż odpowiedniej ilości i jakości wodomierzy,
- systematyczna kontrola ciśnień w sieci [19, 20].

W praktyce przedsiębiorstwa wodociągowe w zależności przede wszystkim od sytuacji finansowej przyjmują różne strategie ograniczenia strat wody. Sposoby te podzielić można na dwa typy - pasywne oraz aktywne. Pasywny sposób zarządzania stratami wody ogranicza się do usuwania zgłoszonych awarii, a zakład nie prowadzi polityki aktywnego, systematycznego wyszukiwania wycieków. Taki sposób strategii podejmują najczęściej przedsiębiorstwa, w których koszt produkcji wody jest stosunkowo niski, a koszt wykrywania wycieków wysoki. Podstawą aktywnego sposobu zarządzania jest ciągłe monitorowanie przepływów w sieci, a w efekcie obniżenie strat wody i zapewnienie ciągłości dostawy. Wprowadzenie monitoringu umożliwia często bardzo wysokie obniżenie strat wody. Do monitoringu sieci można zaliczyć trzy podstawowe zagadnienia: aktywną kontrolę wycieków (AKW), zarządzanie ciśnieniem w sieciach wodociągowych oraz szybkość napraw. Dane z monitoringu wskazują na stan techniczny i podstawowe parametry pracy sieci, pozwalają na obserwację i analizę strat wody w badanym obszarze oraz na kontrolowanie ciśnienia w sieci.

Cenne informacje na temat rzeczywistych strat wody eksploatacja otrzymuje na podstawie badań terenowych, m.in. przez pomiar i analizę przepływów oraz poboru wody w godzinach nocnych (1.00-4.00) w wydzielonych obszarach sieci wodociągowej.

Strefowanie sieci wodociągowej polega na wydzieleniu obszarów w celu uzyskania informacji o objętości wody wpływającej w określony obszar. W tym celu niezbędna jest zabudowa na stałe przepływomierzy lub wodomierzy z nadajnikami impulsów i rejestratorami elektronicznymi:

- we wszystkich miejscach podziału rejonów sieci - dla pomiarów ciągłych,
- tylko na jednym, wybranym kierunku zasilania rejonu - dla pomiarów nocnych.

Z punktu widzenia dystrybucji wody istotny jest pomiar objętości wody, która dopływa do określonych obszarów, i poprawny pomiar objętości pobieranej przez odbiorców w danym obszarze [12]. Ciągła kontrola przepływów w poszczególnych obszarach sieci wodociągowej pozwala na zlokalizowanie rejonów o podwyższonych stratach w celu szybkiej likwidacji strat oraz właściwego planowania koniecznych inwestycji i remontów.

Bardzo istotny jest czas pomiędzy zaistnieniem wycieku a jego wykryciem, tzw. czas wykrycia wycieku (CWW). Wpływa on bezpośrednio na całkowitą wielkość straty z pojedynczego wycieku, ponieważ jest ona iloczynem czasu od powstania do likwidacji wycieku i średniej wielkości wypływu. Najczęściej dzięki monitoringowi systemu duże uszkodzenia sieci charakteryzują się krótkim CWW, natomiast małe wycieki mogą być niewykryte przez lata. Szybkie usuwanie wycieków jest dla zakładów wodociągowych opłacalne i daje wymierne efekty ekonomiczne. Usunięcie wycieku każdego metra sześciennego wody to zysk szacunkowo ok. 1,0-1,5 kWh energii potrzebnej do wyprodukowania i transportu wody w systemie dystrybucji [11].

Znaczący wpływ na stopień awaryjności sieci wodociągowej mają warunki ciśnieniowe - nadmierna wartość ciśnienia w stosunku do wymaganego. Dlatego też podstawowym działaniem eksploatatora wodociągu jest kontrola i regulacja ciśnienia, polegająca na obniżeniu wysokości ciśnienia w sieci do minimalnej wartości zapewniającej zaspokojenie potrzeb odbiorców pod względem dostawy wody. Proces prowadzony jest zwykle w oparciu o model hydrauliczny sieci. W sieci wodociągowej wyznaczone są punkty charakterystyczne, które służą do określenia ciśnienia minimalnego i maksymalnego obliczonego w danej strefie pomiarowej.

Podsumowanie i wnioski

Przyczyny awarii przewodów wodociągowych mogą być efektem błędów na etapie projektowania, wykonawstwa, jak również eksploatacji. Najczęściej związane są ze zużyciem materiałów, wadami materiałowymi, błędami montażowymi lub eksploatacyjnymi, a także, incydentalnie, efektem działania innych czynników, jak np. roboty prowadzone w sąsiedztwie sieci wodociągowych, nadmierne obciążenie komunikacyjne, ruchy sejsmiczne. Często trudno jest jednoznacznie ustalić przyczyny powstawania wycieków. W licznych przypadkach nakładają się one na siebie, jak np. niekorzystne warunki gruntowe i wysokie ciśnienie w sieci. Efektem uszkodzeń sieci wodociągowych są straty, które często stanowią bardzo wysoki procent wody włączanej do sieci. Wystąpienie przecieków wpływa niekorzystnie na kondycję finansową zakładów eksploatujących systemy wodociągowe wodę, stwarza możliwość zanieczyszczenia wody oraz powoduje utratę ciągłości dostawy wody.

W związku z powyższym podstawowym działaniem każdego zakładu eksploatującego systemy dystrybucji wody jest systematyczne sporządzanie bilansu i obliczanie

wskaźników strat. Na podstawie analizy badań krajowych i zagranicznych można stwierdzić, że jednoznaczne określenie ilości wody traconej wody nie jest zagadnieniem prostym. Zaleca się, aby stosowanie klasycznej metody obliczania wskaźnika procentowego uzupełniać o ujednoczoną metodykę proponowaną przez IWA. Pozwala to na uzyskanie pełniejszych informacji o ilości wody traconej bezpowrotnie z sieci. Należy jednak nadmienić, że poważnym utrudnieniem w ocenie strat wody jest często ograniczona i niepewna ilość danych, którą dysponuje zakład, a która jest niezbędna do obliczenia zalecanych wskaźników wskazujących na istnienie wycieków. Zaliczyć do nich należy często brak pomiarów ilości wody zużywanej na potrzeby własne wodociągu, trudności w oszacowaniu strat nieuniknionych wynikające z niedokładności inwentaryzacyjnych sieci. Ponadto istotna jest dokładność i jednoczesność w pomiarze poszczególnych składników bilansu, gdyż od tego zależy jego dokładność.

W przypadku niekorzystnego wyniku bilansu zakład musi podjąć działania na rzecz ograniczania wycieków, które najczęściej powinny być prowadzone równocześnie jako organizacyjne, remontowe oraz inwestycyjne. Dla precyzyjnej lokalizacji, szczególnie małych wycieków, konieczne jest łączenie kilku metod i stosowanie różnych urządzeń. Bardzo ważne są pomiary i analiza wielkości ciśnienia oraz przepływu w sieciach. Priorytetem powinno być wyposażenie zakładów w urządzenia umożliwiające wykrywanie wycieków specjalistycznym sprzętem nasłuchowym, jak loggery, geofony, stetofony czy korelatory.

Obecnie uważa się, że większość zakładów wodociągowych, podejmując odpowiednie działania techniczne i organizacyjne, może stosunkowo łatwo obniżyć ilość traconej wody do kilkunastu procent. Potwierdzają to wyniki bilansu sporządzone dla wybranych wodociągów województwa śląskiego [15]. Działania mające na celu bardzo wysokie obniżanie strat są na ogół kosztowne i często nieuzasadnione ekonomicznie. Dlatego utrzymanie strat na poziomie 8-10% można uznać obecnie za zadowalające [20]. Zakłada się w perspektywie osiągnięcie poziomu strat w wysokości 5-6%.

Podziękowania

Pracę wykonano w ramach badań statutowych BS-PB/401/306/11.

Literatura

- [1] Mutikanga H, Sharma S, Vairavamoorthy K. Methods and tools for managing losses in water distribution systems. *J Water Resour Plann Manage.* 2013;139(2):166-174. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000245.
- [2] Ferrari G, Savic D. Economic performance of DMAs in water distribution systems. *Procedia Eng.* 2015;119:189-195. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.874.
- [3] European Environment Agency. Towards efficient use of water resources in Europe. EEA Report 1.2012. DOI: 10.2800/95096.
- [4] Clarke M, Boden P, McDonald A. DEBTOR: debt evaluation, bench-marking and tracking - a water debt management tool to address UK water debt. *Water Environ J.* 2012;26:292-300. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2011.00288.x.
- [5] Zambrano JA, Gil-Martinez M, Garcia-Sanz M, Irizar I. Benchmarking of control strategies for ATAD technology: a first approach to the automatic control of sludge treatment systems. *Water Sci Technol.* 2009;60(2):409-417. DOI: 10.2166/wst.2009.338.

- [6] Piechurski FG. Obliczanie i ocena strat wody oraz sposoby ich ograniczenia (2). MI. 2011;2(150):44-45. <http://www.instalator.pl/2011/03/obliczanie-i-ocena-strat-wody-ora-sposoby-ich-ograniczenia-3-rehabilitacja>.
- [7] Studziński A, Pietrucha-Urbanik K, Kluz W. Analiza strat wody w sieci wodociągowej w Stalowej Woli. JCEEA. 2014;61(1/14):333-342. DOI: 10.7862/rb.2014.23.
- [8] Siwoń Z, Cieżak J, Cieżak W. Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych. Ochr Środ. 2004;4:25-30. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2004/Siwon_4-2004.pdf.
- [9] Hotłoś H. Analiza strat wody w systemach wodociągowych. Ochr Środ. 2003;1:17-24. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2003/Hotlos_1-2003.pdf.
- [10] Hotłoś H. Quantitative assessment of the influence of water pressure on the reliability of water-pipe networks in service. Environ Prot Eng. 2010;36(3):103-112. http://epe.pwr.wroc.pl/2010/hotlos_3-2010.pdf.
- [11] Hotłoś H. Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacji sieci wodociągowych. Monografia 49. Wrocław: Ofic Wyd Politechniki Wrocławskiej; 2007. <http://www.dbc.wroc.pl/Content/4273/Hotlos.pdf>.
- [12] Piechurski FG. Wykorzystanie monitoringu sieci wodociągowej do obniżenia poziomu strat wody. Napędy i Sterowanie. 2013;2:66-71. http://beta.nis.com.pl/userfiles/editor/nauka/22013_n/Piechurski_02-2013.pdf.
- [13] Kępa U, Stępiak L, Stańczyk-Mazanek E. Analiza zużycia wody i zmienność rozbiórów dla obszaru zasilania Kawie Góry na terenie miasta Częstochowy. Rocz Ochr Środ. 2013;15:2546-2562. http://ros.edu.pl/images/roczniki/2013/pp_2013_167.pdf.
- [14] Kwietniewski M. Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych. Ochr Środ. 2013;35(4):9-16. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2013/4-2013/Kwietniewski_4-2013.pdf.
- [15] Ociepa E, Kędzia W. Analiza strat wody w wybranych wodociągach województwa śląskiego. Inż Ochr Środ. 2015;18(3):277-288. https://is.pcz.pl/static/pdf/2015/zeszyt3/2015_nr3_1-OciepaKedzia_p.pdf.
- [16] Rak J, Sypień Ł. Analiza strat wody w wodociągu miasta Jasła. JCEEA. 2013;60(3/13):5-18. DOI: 10.7862/rb.2013.33.
- [17] Rak J, Trojnar D. Analiza i ocena strat wody w wodociągu Łañcuta. JCEEA. 2014;61(1/14):245-256. DOI: 10.7862/rb.2014.17.
- [18] Studziński A, Pietrucha-Urbanik K, Mędrala A. Analiza strat wody oraz awaryjności w wybranych systemach zaopatrzenia w wodę. JCEEA. 2014;61(4/14):193-201. DOI: 10.7862/rb.2014.137.
- [19] Piechurski FG. Sposoby zmniejszania strat wody (cz. 2). Ryn Instal. 2011;12:1-4. <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/id3323,sposoby-zmniejszania-strat-wody-cz-2?print=1>.
- [20] Kwietniewski M. Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych. Materiały XXV Konf Nauk-Techn. Awaryjne budowlane. Międzyzdroje, 24-27 maja 2011. 2011:127-140. http://www.awaryjne.zut.edu.pl/files/ab2011/referaty/T1_01_Referaty_plenarne/07_Kwietniewski_M_Awaryjnosc_infrastruktury_wodociagowej_i_kanalizacyjne_j_w_Polsce_w_swietle_badan_eksploatacyjnych.pdf.

WATER LOSS IN DISTRIBUTION SYSTEMS - CAUSES, DETERMINATION, ACTION TO REDUCE

Institute of Environmental Engineering, Faculty of Infrastructure and Environment
Czestochowa University of Technology

Abstract: In the article, on the base of national and international surveys analysis, various methods for water loss determination are described. Methods of their application were analyzed. Current, supplementation of the classical method of the loss percentage calculation with a standardized methodology, proposed by the International Water Association (IWA), is recommended. It was emphasized that a major difficulty in the water loss assessment is often limited and uncertain amount of data required to calculate the recommended rates of loss indicating the status of the distribution system operated. These include the frequent absence of water quantity consumed for own water supply, the difficulty in estimating the inevitable loss of real and apparent losses or deficiencies or inaccuracies in network inventory. Various activities leading to limit losses were indicated. The basis for actions is mainly the implementation of flows and pressures monitoring in water supply networks.

Keywords: water balance, water losses, monitoring of water supply