

Działania zmierzające do ograniczania strat wody w systemach jej dystrybucji

Florian Piechurski

1. Wstęp

W normalnie i poprawnie działającym systemie dystrybucji wody nie do uniknięcia jest sytuacja, w której pewna objętość wody wydobytej i wtłoczonej do systemu wodociągowego jest tracona i przedsiębiorstwa wodociągowe mimo poniesionych nakładów nie uzyskują z niej przychodów. Ograniczenie strat wody i jej racjonalne zużycie jest jednym z ważniejszych czynników oceny ekonomicznej działalności przedsiębiorstw wodociągowych. Obecnie, wobec stale rosnącego udziału opłat za wodę i ścieki w budżetach gospodarstw domowych, ograniczenie strat jest najprostszym sposobem obniżenia kosztów produkcji i poprawienia efektywności ekonomicznej przedsiębiorstwa, a w konsekwencji ograniczenia wzrostu opłat za wodę. Także coraz większa świadomość, w tym dotycząca ochrony środowiska i zasobów wód, odbiorców i samorządów, będących w ogromnej większości „właścicielami” przedsiębiorstw wodociągowych i zatwierdzającymi taryfy opłat wymusza podejmowanie skutecznych działań w celu ograniczania strat wody.

Podstawowym warunkiem do oceny poprawności pracy systemu dystrybucji wody jest znajomość i możliwość analizy warunków technicznych eksploatowanej sieci. W każdym systemie dystrybucji wody istnieją możliwości wydzielenia obszarów – stref, w których można zabudować urządzenia do pomiaru przepływu i ciśnienia oraz ich regulacji, co może prowadzić do znaczącego ograniczenia strat wody.

2. Bilans wodny w systemie dystrybucji wody

Bilansowanie wody w sieci jest uznawane za podstawowy element oceny efektywności pracy całego układu dystrybucji wody w aspekcie zużycia i strat wody.

Szczególnie ważne dla prawidłowej oceny szeroko pojętych warunków techniczno-eksploatacyjnych dla sieci wodociągowej jest uwzględnienie następujących wielkości:

- objętość wody dostarczonej do sieci (V_{DS});
- objętość wody dostarczonej odbiorcom i zafakturowanej (V_{SP});
- objętość wody wtłoczonej do sieci i zużytej na potrzeby własne wodociągu (np. płukanie sieci, na cele gospodarcze przedsiębiorstwa) (V_{TS});
- objętość strat wody w sieci wodociągowej (V_{STR}).

Objętość wody zużytej na potrzeby własne wodociągu (V_{TS}) z reguły nie jest dokładnie mierzona, często podawana szacunkowo, pomijana lub bardzo często zawyżana dla zmniejszenia obliczeniowego, procentowego wskaźnika strat wody.

Trudności w przypadku rozliczeń objętości zużycia wody w systemie dystrybucji wynikają z różnorodnych czynników, które dzielą się na: zależne i częściowo niezależne od przedsiębiorstwa zarządzającego tym systemem.

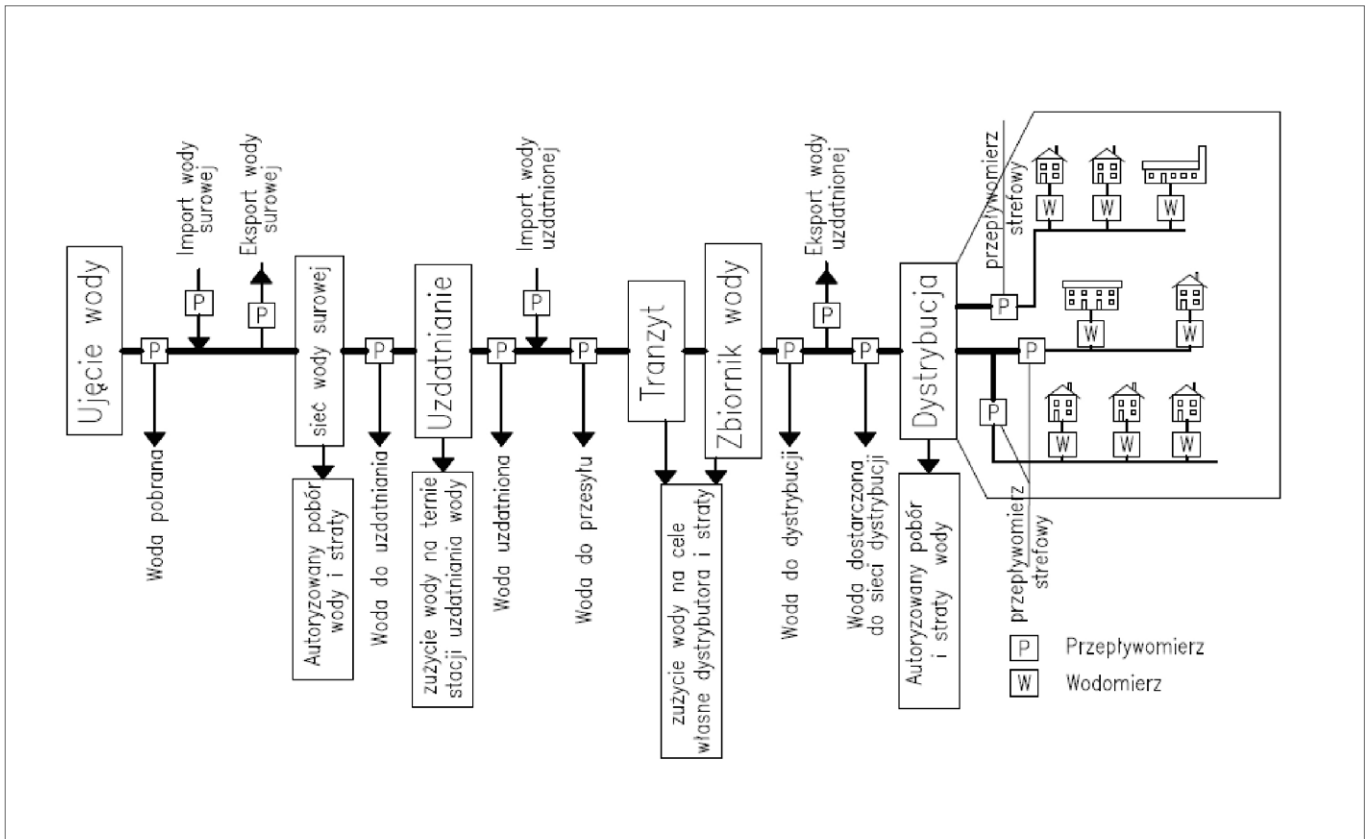
Streszczenie: Awary w sieci wodociągowej są zjawiskiem naturalnym i nieuniknionym ze względu na stan techniczny rur i armatury. Obecnie istnieją możliwości ograniczenia strat wody. Działania związane z szybkim usuwaniem awarii wiążą się z wykorzystaniem urządzeń do monitoringu przepływu. Szczególnie ważne są tu analizy Minimalnych Nocnych Przepływów (MNP) i pomiar ciśnienia oraz Aktywnej Kontroli Wycieków (AKW). Organizacja w przedsiębiorstwie dystrybucji wody powinna być podporządkowana szybkiemu i sprawnemu oraz opartemu na procedurach usuwaniu awarii. Niezbędnym warunkiem do ograniczenia poziomu strat jest odpowiednia optymalizacja ciśnienia w sieci wody dzięki regulacji czasowej lub modulacyjnej. Należy podkreślić, że rury i armatura sieci ulegają procesom starzenia i są zdekapitalizowane, co zmusza do ich odnowy – wymiany, które niestety generują bardzo wysokie koszty. Działania zmierzające do ograniczenia strat wody muszą być prowadzone według ustalonej strategii, która powinna być weryfikowana, a związana z uzyskiwanymi efektami obniżenia strat wody.

MINIMIZING WATER LOSSES ACTIONS IN WATER DISTRIBUTION SYSTEMS

Abstract: Water network failures are natural and unavoidable as a result of age and condition of network and its armature. Nowadays we have a plenty of methods allowing minimization of water losses. Water losses minimizing actions are based mainly on water monitoring system. Very important are Night Flows Analysis, pressure measurement and Active Leakage Control. Internal organization of water distribution company should be focused on fast and effective failure removal based on protocol. Important factor leading to losses minimization is pressure optimization realized with time or modular regulation. One should be aware of the fact that pipes and armature is getting older. That leads to the fact that old parts need to be replaced. Replacing old parts of the network generates high costs for water distribution company. It is important to prepare a schedule of water losses minimization actions that should be verified and modified according to obtained results.

Do czynników zależnych należą:

- przecieki wody z nieszczelnego uzbrojenia wodociągowego;
- płukanie sieci wodociągowej;
- nieszczelności na złączach przewodów wodociągowych.



Rys. 1. Pomiary strumienia objętości wody w systemie wodociągowym [11]

Czynniki częściowo niezależne to:

- kradzieże wody;
- awarie wodociągowe;
- klasa dokładności zastosowanych urządzeń pomiarowych.

Przy zamontowaniu urządzeń pomiarowych (rys. 1) sporządzenie bilansu wody w systemie wodociągowym nie powinno stwarzać obecnie żadnych problemów technicznych, pod warunkiem zastosowania odpowiednio dokładnych systemów urządzeń pomiarowych – monitoringu.

Przedstawiony schemat układu pomiarowego jest bardzo rozbudowany, ale pozwala na pełną kontrolę systemu zaopatrzenia w wodę. Z punktu widzenia dystrybucji wody istotny jest pomiar objętości wody, która dopływa do obszarów – stref i poprawny pomiar objętości pobieranej przez odbiorców w danej strefie. Wprowadzenie odczytów radiowych jest rozwiązaniem optymalnym z punktu widzenia wykonywania bilansu wody w danej strefie oraz w całym systemie dystrybucji wody.

Definicje podstawowych składników bilansu wody w sieci wodociągowej wg standardu IWA (*International Water Association*) są następujące [1]:

- objętość dostarczona – to objętość dostarczona w ciągu roku do części systemu zaopatrzenia w wodę, będącej podmiotem badań;
- rejestrowane zużycie – to roczna objętość zmierzonej i niezmierzonej wody, zużytej przez zarejestrowanych klientów, przedsiębiorstwa wodociągowe oraz innych zarejestrowanych odbiorców;
- straty wody – różnica pomiędzy objętością dostarczoną i rejestrowanym zużyciem.

W innym ujęciu, według IWA, standard dotyczący tworzenia rocznego bilansu wody dla przedsiębiorstw wodociągowych dzieli wodę na dwie grupy: wodę użytą na konsumpcję i straty. Kolejnych i dokładniejszych podziałów wody konsumowanej w sposób autoryzowany dokonano w oparciu o sposób jej rozliczenia i obecność przyrządów pomiarowych. Straty wody podzielono na pozorne i rzeczywiste. Za straty pozorne uważa się „nieautoryzowaną konsumpcję”, do której można zaliczyć: kradzieże wody, błędy związane ze złym działaniem urządzeń pomiarowych. Straty rzeczywiste dotyczą strat wody ponoszonych na skutek obecności nieszczelności i przecieków występujących w sieci dystrybucji, a także w zbiornikach magazynujących.

Z punktu widzenia opracowania strategii ograniczenia start wody wykonanie rzetelnego bilansu wody w danym systemie dystrybucji jest warunkiem wyjściowym. Jeżeli brakuje urządzeń pomiarowych gwarantujących odpowiednią dokładność zarówno przy poborze, jak i sprzedaży wody, bilansowanie będzie bardzo trudne, wręcz niemożliwe. Dlatego wprowadzenie monitoringu – przepływu i objętości wody jest pierwszym krokiem w walce ze stratami.

3. Straty wody w sieci wodociągowej

Różnicę między objętością wody wyprodukowanej – zakupionej (wtłoczonej do sieci), a wodą sprzedaną odbiorcom nazywa się stratami wody, dzielonymi na rzeczywiste i „pozorne”. „Pozorne” straty są oceniane jako te spowodowane błędami w pomiarach wodomierzy, błędnego szacowania – czyli braku pomiaru objętości wody do płukania sieci lub na cele przeciwpożarowe.

Straty rzeczywiste są wynikiem złego stanu technicznego materiału przewodów, złączy i armatury. Za najczęstszą przyczynę nieszczelności rur, armatury i złączy uważa się korozję i nadmierne ciśnienie. Na wysokość strat wpływają głównie nieszczelności i awarie sieci oraz przyłączy wodociągowych. Równie ważnymi czynnikami są:

- rodzaj materiału sieci i armatury;
- liczba przyłączy wodociągowych;
- dokładność pomiarów objętości sprzedaży wody;
- sprzedaż wody w oparciu o ryczałty (brak oszczędności wody przez odbiorców);
- różnice w dokładności pomiarów wodomierzy;
- kradzież i nielegalny pobór wody (uszkadzanie wodomierzy; nielegalne podłączenia do sieci wodociągowej);
- nadmierne i nieuzasadnione technicznie ciśnienie w sieci wodociągowej.

Nie istnieją żadne normy określające dopuszczalne wielkości straty wody.

W celu obniżenia strat pozornych wody należy podjąć następujące działania:

- likwidacja rozliczania za wodę ryczałtowo;
- zalegalizowanie wodomierzy w terminie;
- zastosowanie wodomierzy odpornych na działanie pola magnetycznego;
- sprawdzenia poprawności doboru wodomierzy przy ich wymianie;
- kontrola nieuczciwych odbiorców wody;
- montaż przepływomierzy w ujęciach wody, strefach dystrybucji;
- pomiar objętości wody zużywanej na potrzeby własne przed i po wtłoczeniu;
- pomiar i rozliczenia za objętość wody pobraną, a nie faktyczną.

Często błędnie straty wody są traktowane jako nieopomiarowany pobór wody.

Woda ta może być zarówno rozliczana, jak i nie. Do takich poborów wody zaliczamy:

- kradzieże wody;
- pobory rozliczane ryczałtowo;
- udostępnienie wody na cele gospodarcze i budowlane z hydrantów;
- wodę nierejestrowaną ze względu na przewymiarowane wodomierze;
- płukanie sieci.

3.1. Ograniczenie strat wody

Ograniczenie wielkości strat wody oraz jej racjonalne zużycie powinno być jednym z głównych celów działalności przedsiębiorstw wodociągowych.

Wśród działań zmierzających do ograniczenia strat wody można wymienić:

- ciągły monitoring strat wody;
- poprawne prowadzenie bilansu wody;
- analizę zużycia wody przez odbiorców;
- opracowanie grupy wskaźników opisujących straty wody.

Ważna jest tutaj precyzja i jednoczesność pomiaru poszczególnych składników bilansu, gdyż od tego głównie zależy dokładność i poziom błędów popełnionych w bilansie. Błędy te

mogą być bardzo wysokie, ze względu na to, że straty wody są niestety w większości jedynie wielkościami szacowanymi.

Analiza zużycia wody przez odbiorców poprzez porównanie z poprzednimi okresami rozliczeniowymi stwarza warunki do zauważenia pewnych anomalii świadczących o nieprawidłowościach pomiarów lub kradzieżach wody.

3.2. Wskaźniki strat wody

Należy przyjąć grupę wskaźników opisujących straty wody, które pomagają porównać i monitorować poziom straty oraz uzyskać pewne informacje o prawidłowości i celowości podjętych działań. Do tych wskaźników należą:

- objętość wody wtłoczonej do sieci;
- objętość wody sprzedanej;
- objętość wody sprzedanej odbiorcom domowym;
- objętość wody dostarczonej i zużytej przez przedsiębiorstwo wodociągowe;
- objętość strat wody;
- liczba mieszkańców przypadająca na 1 km sieci;
- gęstość przyłączy;
- jednostkowa objętość wody dostarczonej;
- wskaźnik intensywności uszkodzeń;
- jednostkowa sprzedaż wody ogółem;
- jednostkowa sprzedaż wody w gospodarstwach domowych;
- objętość wody niesprzedanej;
- jednostkowy wskaźnik strat wody w sieci wodociągowej;
- jednostkowy wskaźnik strat wody na 1 mieszkańca, 1 przyłączy.

Wszystkie wymienione wskaźniki oblicza się na dobę, na jednego mieszkańca lub jednostkę długości sieci. Na podstawie porównania tych wskaźników można określać poziom – wielkość strat wody w sieci dystrybucji wody.

Oprócz wymienionych wskaźników bardzo przydatny do oceny strat wody w sieci wodociągowej jest wskaźnik infrastrukturalnego indeksu wycieków ILLI.

Rzeczywiste straty wody można określić:

- na podstawie rocznego bilansu wody, z różnicy całkowitych strat i zużycia wody na potrzeby własne systemu;
- 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.

3.3. Procentowy Wskaźnik Strat (PWS)

Procentowy wskaźnik strat wody jest szeroko stosowany w wielu krajach, lecz jest on mało precyzyjny. Określa poziom straty wody w systemie wodociągowym poprzez porównanie objętości wody wtłoczonej i straconej.

$$PWS = V_{STR} / V_{WTL} \times 100 [\%]$$

gdzie:

V_{STR} – objętość wody straconej;

V_{WTL} – objętość wody wtłoczonej.

3.4. Obliczenie wskaźników strat wody według standardów IWA

W międzynarodowym raporcie Allana Lamberta, dotyczącego tematu strat wody, zostały przedstawione porównania róż-

nych systemów dystrybucji z zastosowaniem następujących wskaźników [1]:

- RLB – wskaźnik jednostkowy strat rzeczywistych (*Real Loss Basic*);
- ILI – infrastruktury indeks wycieków (*Infrastructure Leakage Index*);
- NRW – wskaźnik objętości wody niedochodowej (*Non-Revenue Water Basic*);

RLB – Wskaźnik Jednostkowy Strat Rzeczywistych

Występują w literaturze zalecane dwie alternatywne wersje tego wskaźnika. Wybór wersji zależy od gęstości przyłączy przypadających na 1 km przewodów sieci.

Jeżeli gęstość przyłączy DC (*Density of Service Connection*) wynosi [1]:

- $DC < 20$ przył/km, to stosujemy jednostkowy wskaźnik strat rzeczywistych odniesiony do długości przewodów sieci (bez przyłączy), wyrażony [$m^3/km \cdot d$];
- $DC \geq 20$ przył/km, to stosujemy jednostkowy wskaźnik strat rzeczywistych przypadających na 1 przyłączy, wyrażony [$dm^3/przył$];

$$RLB = V_{STR} \times 1000 / (Lp \times 365)$$

gdzie:

- V_{STR} – objętość strat wody, [m^3/rok];
- Lp – liczba przyłączy, [szt].

ILI – Infrastruktury Indeks Przecieków

Indeks ILI został wyznaczony za pomocą ułamka:

$$ILI = V_{STR} / UARL [-]$$

gdzie:

- V_{STR} – objętość rocznych rzeczywistych strat wody, [m^3/rok];
- $UARL$ – objętość rocznych nieuniknionych strat rzeczywistych (*Unavoidable Annual Real Losses*), [m^3/rok].

Licznik ułamka (objętość rocznych rzeczywistych strat wody) wynika z bilansu wodnego, natomiast mianownik (objętość strat nieuniknionych UARL) oblicza się jako sumę trzech składników:

- przecieki nieuniknione na przewodach sieci (magistralne + rozdzielcze – bez przyłączy), jako $18 \text{ dm}^3/\text{km}/\text{dobę}/\text{metr}$ ciśnienia;
- przecieki nieuniknione na przyłączach (do granicy nieruchomości), jako $0,8 \text{ dm}^3/\text{przyłączy}/\text{dobę}/\text{metr}$ ciśnienia;
- przecieki nieuniknione na przyłączach (od granicy nieruchomości do wodomierza głównego), jako $25 \text{ dm}^3/\text{km}/\text{dobę}/\text{metr}$ ciśnienia.

Straty nieuniknione to takie, których usuwanie w systemie wodociągowym, ze względu na ich niski poziom, nie ma większego uzasadnienia ekonomicznego.

W wytycznych niemieckich z 1986 r. zawarto na przykład dane o granicznych dopuszczalnych jednostkowych stratach wody w zależności od rodzaju gruntu [2]:

- dla gruntów piaszczystych wartość tego wskaźnika winna wynosić $1,2\text{--}1,6 \text{ m}^3/\text{d km}$;
- dla gruntów żwirowych $2,4\text{--}6,0 \text{ m}^3/\text{d km}$;
- dla gruntów skalistych spękanych $4,81\text{--}4,4 \text{ m}^3/\text{d km}$.

Wynik obliczeń objętości rocznych strat nieuniknionych UARL jest technicznie możliwy do osiągnięcia w systemie dystrybucji wody:

- o dobrej kondycji infrastruktury (niska częstotliwość uszkodzeń i wysoki poziom usług);
- z efektywnym programem aktywnej kontroli przecieków;
- przy szybkim i dobrym jakościowo wykonaniem napraw wszystkich wykrywanych przecieków i uszkodzeń.

Stosowanie indeksu ILI pozwala na porównanie i ocenę podejmowanych działań zmierzających do obniżenia strat wody w sieci wodociągowej, a także umoliwia ocenę stanu technicznego tej sieci.

I tak, w zależności od wartości indeksu ILI rozróżniamy stan sieci [6]:

- bardzo dobry, gdy $ILI < 1,5$;
- dobry, gdy $1,5 < ILI < 2,0$;
- średni, gdy $2,0 < ILI < 2,5$;
- słaby, gdy $2,5 < ILI < 3,0$;
- bardzo słaby, gdy $3,0 < ILI < 3,5$;
- niedopuszczalny, gdy $ILI > 3,5$.

NRWB – Wskaźnik Objętości Wody Niedochodowej

Wskaźnik objętości wody niedochodowej odpowiada stosowanemu w Polsce wskaźnikowi wody niesprzedanej. Wyrażany jest w %. Obliczany według wzoru:

$$V_{NS} = [(V_{DS} - V_{SP}) / V_{DS}] \times 100\%$$

gdzie:

- V_{NS} – wskaźnik objętości wody niedochodowej, [%];
- V_{DS} – objętość wody dostarczonej do sieci, [m^3/rok];
- V_{SP} – objętość wody sprzedanej odbiorcom, [m^3/rok].

4. Podatność przewodów wodociągowych na awarie

Głównym problemem eksploatacyjnym są awarie powodujące wycieki i straty wody oraz wtórne zanieczyszczenie wody w sieci. Aby pozbyć się problemu dysfunkcyjności rurociągów oraz armatury, trzeba przewodów prewencyjnie poddać renowacji, modernizacji. Doraźne rozwiązanie, takie jak naprawa miejscowa, to tylko tymczasowa metoda odzyskania sprawności, nie likwidująca przyczyny awarii. Problem nieszczelności i utraty wody jest dużo szerszy. Możemy przeciwdziałać przyczynom, na które mamy wpływ, takim jak m.in. nadmierne ciśnienie, nieprawidłowy montaż powodujący awarie. Najefektywniejszym przeciwdziałaniem nieszczelności rur eksploatowanych najczęściej na obszarze Polski (stalowych, żeliwnych), poza wymianą, jest obniżenie i stabilizacja ciśnienia [7].

Na przestrzeni 8 lat i powiększeniu sieci o ok. 24% zmniejszyła się jej awaryjność o ok. 30%. Powodem jest w dużej mierze rehabilitacja oraz modernizacja sieci, jednak duże znaczenie ma również regulacja ciśnienia wprowadzana przez wiele przedsiębiorstw wodociągowych [10].

Opisując awarie w sieci wodociągowej, należy wspomnieć o trwałości armatury. Obecnie armatura wykonana jest najczęściej z żeliwa szarego lub sferoidalnego, stosowane są również materiały takie, jak PVC U i PE HD. Przeważają jednak materiały żeliwne. Na trwałość armatury, takiej jak zasuwy, kształtki, i inne urządzenia sieciowe, mają wpływ wady konstrukcyjne,

produkcyjne, nieprawidłowy transport, zła eksploatacja, a nawet nieprawidłowe składowanie u producenta czy odbiorcy w oczekiwaniu na montaż. Ważne są tu warunki składowania, czyli temperatura, wilgotność powietrza czy stopień nasłonecznienia. Istotnym elementem eksploatacji armatury jest wpływ uderzeń hydraulicznych i kawitacji na trwałość materiału. Kawitacja: jest zjawiskiem wywołanym zmiennym polem ciśnień cieczy, polegającym na tworzeniu się, powiększaniu i zanikaniu pęcherzyków lub innych obszarów zamkniętych (kawern), zawierających parę danej cieczy, gaz lub mieszaninę parowo-gazową. Jest to zespół zjawisk, w którym następuje zamiana wody w bąble pary wodnej, spowodowana miejscowym zmniejszeniem ciśnienia lub zwiększeniem temperatury, oraz implozja, czyli zapadanie, kurczenie się tych bąbli, co powoduje wytworzenie niszczącej fali uderzeniowej. Lokalne zmiany ciśnienia przekraczają ciśnienie płynu nawet kilkaset razy i mogą powodować zniszczenie dowolnego materiału. Szczególnie podatne na kawitację są elementy sieci pracujące i odpowiadające za regulację dławieniem, np. zasuwę wbrew zaleceniom producenta.

Badania potwierdzają, iż największą podatność na awarie mają przewody wykonane ze stali, szczególnie podatne na nadmierne ciśnienie oraz jego dobowe wahania. Następnym materiałem po stali, wykazującym zdolności do uszkodzeń, jest żeliwo szare, jego awaryjność jest mniejsze niż stali. Z rozpatrywanych materiałów sieciowych najlepiej sprawdzają się tworzywa sztuczne, jak PVC U czy PE HD. Problemem tworzyw sztucznych jest utrudniona wykrywalność awarii przez urządzenia do poszukiwania wycieków – przyrządy te analizują szumy, które tworzywa sztuczne skutecznie tłumią. Stal oraz żeliwo, szczególnie osłabione wpływem korozji, dużo gorzej znośzą zmiany ciśnienia, nadmierne ciśnienie, uderzenia hydrauliczne niż przewody wykonane z tworzyw sztucznych. PE HD oraz PVC U są materiałami dużo bardziej elastycznymi. Zmiany ciśnienia w sieci powodowane są zmiennym rozbiorem dobowym, jak również uderzeniami hydraulicznymi powodowanymi przez zamykanie i otwieranie zasuw, włączaniem pomp, uruchamianiem odcinków po awariach itp. Gwałtowne zamknięcie bądź otwarcie przekroju przewodu powoduje nagły wzrost ciśnienia, które rozchodzi się falowo w przewodzie, wzrost ciśnienia na ściankach powoduje pęknięcia, wysunięcia rury z kielicha.

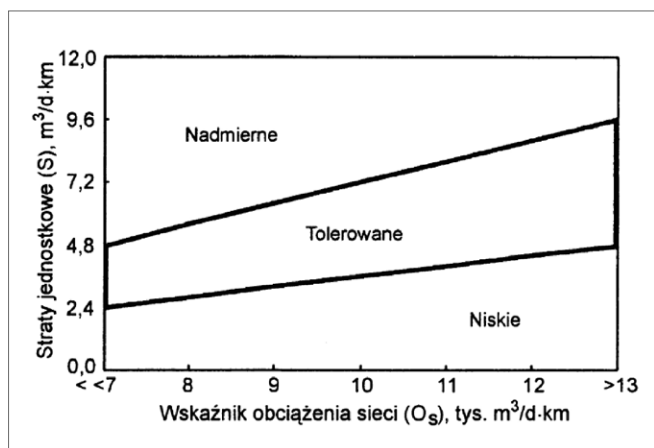
5. Procedury oceny stanu technicznego sieci wodociągowej

Sprawdzenie stanu technicznego sieci powinno wynikać z procedur obowiązujących w danym przedsiębiorstwie wodociągowym. Należało wypróbować i wprowadzić:

- metodę punktową oceny stanu technicznego sieci;
- ocenę awaryjności sieci.

Metoda punktowa oceny stanu technicznego sieci opiera się na kryterium ważności, a także punktacji dla poszczególnego kryterium, w którym:

- **stan techniczny rurociągu ma przydzielone 50%** ważności kryterium i dla tego kryterium jest określona następująca punktacja:
 - **1 punkt** przyznawany jest dla rur stalowych, żeliwnych, AC, PE, PVC – bez korozji i nieszczelności na połączeniach z przepustowością 100%;



Rys. 2. Zależność strat od obciążenia hydraulicznego sieci [2]

- **2 punkty** przyznawane są dla rur stalowych, żeliwnych, azbestocementowych, PE, PVC – uszkodzenia punktowe mechaniczne spowodowane pracami firm obcych lub brygad eksploatacyjnych. Przepustowość wynosi 80%, rury zarośnięte twardymi osadami korozji;
- **3 punkty** przyznawane są dla rur stalowych, żeliwnych – korozja punktowa typu wżery korozyjne, pęknięcia poprzeczne i podłużne w ilości od 2 do 1 uszkodzenia na długości rury okrytej w wykopie umożliwiającą uszczelnienie wodociągu poprzez punktową naprawę. Przepustowość 60%, rury zarośnięte twardymi osadami korozji oraz węglanu wapnia. Rury PE, PVC – uszkodzenie połączeń rur (zgrzewów lub uszczelek);
- **4 punkty** przyznawane są dla rur stalowych, żeliwnych – korozja rozległa typu sito oraz korozja punktowa typu wżery korozyjne, pęknięcia poprzeczne i podłużne w ilości od 4 do 3 sztuki otworów korozyjnych na długości rury okrytej w wykopie umożliwiającą uszczelnienie – naprawę wodociągu poprzez odcinkową wymianę rury. Przepustowość 40%, rury zarośnięte twardymi osadami korozji oraz węglanu wapnia;
- **5 punktów** dla rur: stalowych – korozja rozległa typu sito uniemożliwiająca montaż opaski naprawczej. Rury stalowe i żeliwne – korozja punktowa typu wżery korozyjne, pęknięcia poprzeczne i podłużne w liczbie ≥ 5 sztuk na długości rury odkrytej w wykopie. Przepustowość 20%, rury zarośnięte twardymi osadami korozji oraz węglanu wapnia. Rury azbestocementowe, w których stwierdzono rozwarstwienie ścian, uniemożliwiające odcinkową wymianę rury.
- **Rola wodociągu w systemie zasilania ma przydzielone 30%** ważności kryterium. Punktacja wraz z charakterystyką jest następująca:
 - **1 punkt** przydzielany jest dla końcówek sieci wodociągowej;
 - **2 punkty** dla wodociągów zasilających osiedla z zabudową niską jednorodzinną;
 - **3 punkty** – wodociągi zasilające hydrofornie oraz osiedla budynków wielorodzinnych;
 - **4 punkty** przyznawane są dla sieci rozdzielczej zasilanej bezpośrednio z włączeń do magistrali;
 - **5 punktów** jest przyznawanych dla wodociągów magistralnych.

Tabela 1. Porównanie dla metody punktowej określającej kategorie rurociągu

Kategoria rurociągu	Charakterystyka	Punktacja
Kategoria I	Rurociągi do natychmiastowej wymiany	5
Kategoria II	Rurociągi do wymiany w kolejnym planie inwestycyjnym	4
Kategoria III	Rurociągi do wymiany odcinkowej lub punktowej	3
Kategoria IV	Naprawa punktowa	2
Kategoria V	Stan dobry	1

- **Położenie rurociągu ma przydzielone 20% ważności kryterium.**

Charakterystyka dla tego kryterium jest następująca:

- 1 punkt – tereny zielone;
- 2 punkty – chodniki;
- 3 punkty – drogi osiedlowe;
- 4 punkty – pasaże i drogi z nawierzchni nierozbieralnej;
- 5 punktów – torowiska, przejścia pod autostradami i drogami szybkiego ruchu.

Po przeanalizowaniu wyżej wymienionych aspektów i podliczeniu wszystkich punktów uzyskany wynik punktowy przyporządkowuje się do określonej kategorii rurociągu. Wykaz kategorii przedstawiono w tabeli 1.

Decyzje o wymianie, naprawie bądź renowacji rurociągu podejmują się w momencie, gdy pojawiają się częste awarie bądź gdy występują duże straty wody i dalsza eksploatacja w takim stanie jest nieekonomiczna.

Należy wdrożyć metodę punktową oceny awarii w jednej z monitorowanych stref w celu oceny nakładów inwestycyjnych oraz kosztów pracy ludzi, którzy przeprowadzaliby takie analizy.

6. Działania podejmowane w celu diagnozowania i lokalizacji awarii

Trzeba zastanowić się nad wprowadzeniem procedur, w których należy określić zakres, metody oraz etapy podejmowanych działań w zakresie obniżania awaryjności i strat wody – opracować metodykę podejmowania decyzji. Poniżej podano przykładowe grupy wskaźników, które mogą służyć do podejmowania odpowiednich decyzji.

6.1. Wskaźniki oraz sposoby ich wykorzystywania w diagnostyce sieci

W_s – wskaźnik szczelności sieci obliczany jako stosunek minimalnego godzinowego nocnego przepływu (MNP) do przepływu dobowego.

W przypadku, gdy $W_s \leq 1,0\%$, to sieć wodociągowa jest uznawana za szczelną. Jednak gdy $W_s \geq 1,3\%$, sieć wodociągowa uznawana jest za nieszczelną. W takiej sytuacji podejmuje się działania etapu II AKW – aktywnej kontroli wycieków.

W_s oblicza się według wzoru:

$$W_s = (Q_{\min \text{ nocne}} / Q_{\text{dobowe}}) \times 100 [\%]$$

gdzie:

- $Q_{\min \text{ nocne}}$ – przepływ godzinowy, minimalny nocny (najniższy powtarzający się stale przepływ wody wtłaczanej do obszaru sieci wodociągowej w porze nocnej – pomiędzy godzinami 1:00 a 4:00 nad ranem), $[m^3/h]$;
- Q_{dobowe} – przepływ dobowy (objętość wody wtłoczonej do obszaru sieci wodociągowej w ciągu 24 godz., $[m^3/d]$).

Celem obliczeń dopuszczalnych wskaźników jednostkowych strat wody jest klasyfikacja stref, osiedli lub dzielnic do podjęcia działań służących lokalizacji awarii.

Zestawienie można wykonać według następujących zasad:

W_{NZ} – wskaźnik wody niezbilansowanej jest to wielkość różnicy bilansowej objętości wody wtłoczonej do sieci i sprzedanej odbiorcom wody po odliczeniu potrzeb własnych przedsiębiorstwa wodociągowego, $[\%]$. Obliczany według wzoru:

$$W_{NZ} = \frac{V_{DS} - V_{SP}}{V_{DS}} \times 100$$

gdzie:

- V_{DS} – objętość wody wtłoczonej do sieci;
- V_{SP} – objętość wody sprzedanej (zafakturowanej).

W_{SD} – wskaźnik strat dopuszczalnych jest to wielkość strat rzeczywistych, zależna od obciążenia sieci, poniżej których podejmowanie działań diagnostycznych i lokalizacyjnych jest nieopłacalne.

Obliczenia przeprowadza się według następującego schematu:

- dla danego systemu dystrybucji wody (np. ulica, dzielnica) oblicza się średnią ważoną średnicę;
- dla obliczonej średnicy określa się wskaźnik jednostkowy strat wody q_{sj} przyjmując dopuszczalny wskaźnik strat wody dla przewodu o $\varnothing 100$ mm równy $0,18 m^3/hxkm$.

Obliczono faktyczny wskaźnik intensywności obciążeń sieci ze wzoru:

$$q_{OS} = \frac{Q_{DS}}{L_s} [m^3/dxkm]$$

gdzie:

- Q_{DS} – objętość wody wtłoczonej do sieci $[m^3/d]$;
- L_s – długość sieci w danym systemie $[km]$.

Korzystając z powyższych obliczeń, wylicza się wskaźnik strat dopuszczalnych W_{SD} ze wzoru:

$$W_{SD} = \frac{q_{sj} \times 24 h}{q_{OS}} \times 100 [\%]$$

6.2. Lokalizacja awarii dla stref opomiarowanych wodomierzami przystosowanymi do współpracy z rejestratorami CDL

Dział Eksploatacji Sieci Wodociągowej (TW) na podstawie analizy rocznego bilansu W_{NZ} oblicza W_{SD} . Obszary, dla których $W_{NZ} > 1,1$ W_{SD} , zostają wprowadzone do planu rocznego oraz

wytypowane do aktywnej kontroli wycieków, która składa się z dwóch etapów.

Pierwszy etap: I AKW

W pierwszym etapie aktywnej kontroli wycieków na wytypowanych wcześniej odcinkach sieci należy rejestrować, analizować i archiwizować charakterystyki przepływów godzinowych, dobowych i minimalnych przepływów nocnych MNP (np. rejestratory CDL, za pomocą programu CDLWin i Cello), które są następnie badane. Na podstawie minimalnych nocnych przepływów i przepływów dobowych obliczane są wskaźniki szczelności sieci W_s . Wskaźnik W_s porównywany jest ze wskaźnikami dopuszczalnymi i na tej podstawie określa się, czy sieć jest szczelna czy nieszczelna.

- $W_s \leq 1,0\%$ sieć wodociągowa szczelna, TW nie podejmuje II AKW.
- $W_s \geq 1,3\%$ sieć wodociągowa nieszczelna, TW typuje obszary sieci wodociągowej Do II AKW.

Drugi etap: II AKW

W początkowym fazie tego etapu należy przygotować dokumentację techniczno-inwentaryzacyjną sieci (program np. NettGraf – GIS), dla której zostanie przeprowadzona analiza prowadząca do:

- wytypowania odcinków sieci oraz przyłączy wodociągowych do trasowania i szczególnej kontroli na podstawie danych otrzymanych od działu obsługi klienta (HK) – przyłącza do szczególnej kontroli ze względu na zmniejszone o 50% zużycie wody w stosunku do ostatnich 6 miesięcy oraz własnych doświadczeń – przyłączy nieopomiarowanych, nieznanymi odgałęzieniami na sieci, odbiorców opomiarowanych podejrzanych o kradzieże wody; trasowanie odbywa się urządzeniami – lokalizator;
- naniesienia na plan w GIS odbiorców ryczałtowych oraz opomiarowanych;
- inwentaryzacji armatury zamontowanej na sieci (naniesienie na plan sieci w GIS oraz kontrola jej stanu technicznego).

W dalszej części II AKW przeprowadzona jest obserwacja powierzchni terenu wzdłuż tras wodociągu, obserwacja sieci teletechnicznej oraz kanalizacyjnej. Na wytypowanych wcześniej odcinkach przeprowadza się korelacje sieci i przyłączy (np. za pomocą korelatora). Na odcinkach wytypowanych przez korelator stosuje się geofon w celu precyzyjnej lokalizacji wycieku. Po znalezieniu miejsca awarii następuje jej usunięcie.

Po zakończeniu działań związanych z AKW należy przeprowadzić rekontrolę szczelności sieci przy pomocy rejestratorów CDL i ponownie obliczyć wskaźnik szczelności sieci W_s . W sytuacji, gdy wskaźnik ponownie przyjmuje wartość $W_s \geq 1,3\%$, dział TW podejmuje następujące działania:

- opracowuje sprawozdanie z I i II AKW, które zawiera oszacowanie opłacalności dalszych poszukiwań:
 - typuje sieć do wymiany lub modernizacji, jeśli okres zwrotu nakładów jest krótszy od okresu amortyzacji (dla amortyzacji 4,5% ekonomiczny próg opłacalności wynosi max 22 lata);
 - typuje sieć do dalszego poszukiwania;
- przekazanie opracowania do dyrektora do spraw technicznych i zainteresowanych działów.

6.2. Lokalizacja awarii dla stref opomiarowanych wodomierzami przystosowanymi do współpracy z rejestratorami CDL metodą stopniowej kontroli przepływów

Dział Eksploatacji Sieci Wodociągowej (TW) na podstawie analizy rocznego bilansu W_{NZ} oblicza W_{SD} . Obszary, dla których $W_{NZ} > 1,1W_{SD}$, zostają wprowadzone do planu rocznego oraz wytypowane do stopniowej kontroli przepływów, która przeprowadzana jest według następujących zasad:

1. przygotowanie dokumentacji techniczno-inwentaryzacyjnej sieci (program NettGraf – GIS);
2. zaznaczenie na układzie sieci zasuw, którymi można zamykać wybrane odcinki sieci;
3. na zasilaniu wydzielonego obszaru sieci przeprowadza się montaż rejestratorów przepływu CDL;
4. urządzenie CDL rejestruje przepływ minimalny nocny w godzinach od 1:00 do 4:00;
5. zamykanie zasuw sieciowych, zaczynając od najdalszej, a kończąc na zasuwie przed wodomierzem;
6. przywrócenie pracy sieci w kolejności odwrotnej do harmonogramu zamykania zasuw;
7. na podstawie analizy wyników określa się odcinki sieci z nieszczelnościami (w przypadku, gdy zamykając kolejną zasuwę, odetnie się wyciek, nastąpi skokowa zmiana przepływu nocnego po lokalizacji tej zasuwę rejon wycieku zostanie dokładnie określony);
8. rejon wycieku poddany jest II AKW oraz rekontroli szczelności sieci.

6.3. Lokalizacja awarii dla osiedli i dzielnic nieopomiarowanych

Na podstawie analiz awaryjności obliczonej w rocznym sprawozdaniu opracowany jest wykaz sieci z najwyższym wskaźnikiem awaryjności. W przypadku, gdy $\lambda \geq 0,5$ [awarii/km rok], sieć jest zakwalifikowana do ujęcia w planie rocznym oraz AKW. Rekontrola szczelności sieci jest wykonana przy pomocy korelatora i geofonu (brygada pomiarowa stwierdza, czy w sieci występują tzw. szумы awaryjne, przy pomocy urządzeń pomiarowych. Jeśli tak – sieć jest traktowana jako nieszczelna, dział TW montuje rejestrator CDL oraz oblicza wskaźnik W_s i na tej podstawie przeprowadza się dalsze działania).

6.4. Lokalizacja strat wody powstałych na skutek nielegalnego poboru

Poszczególne etapy działań w przypadku lokalizacji kradzieży wody są następujące:

1. Za pomocą programu NettGraf przygotowuje się dokumentację techniczno-inwentaryzacyjną sieci oraz zaznacza się wodomierze wytypowane przez dział obsługi klienta (HK) (na podstawie zmniejszonego o 50% zużycia wody w stosunku do ostatnich 6 miesięcy).
2. Obserwacja powierzchni terenu wzdłuż trasy wodociągu i przyłączy (kontrola pod kątem włączeń urządzeń przed wodomierzem).
3. Typowanie odcinków sieci i poszczególnych przyłączy od nocnej korelacji, osłuchiwanie geofonem oraz inspekcja telewizyjna.
4. Wykonanie nocnych pomiarów korelatorem i geofonem.

5. Wykonanie inspekcji telewizyjnej przyłączy i sieci.
6. Likwidacja nielegalnych poborów wody.

6.5. Lokalizacja awarii poprzez wdrożenie opomiarowanych stref dystrybucji wody

Dla aktywnej diagnostyki sieci wodociągowej wymaga się monitorowania minimalnych nocnych przepływów (MNP) oraz godzinowych. Wspomniany monitoring przeprowadza się w wydzielonych strefach sieci wodociągowej. Sposób ten pozwala na szybkie określenie wielkości strat na sieci. Z tego powodu dział sieci wodociągowej (TW) powinien stosować metodę wydzielania stref dystrybucji wody oraz systemów pomiarowych, która przebiega według następujących etapów:

1. Przygotowanie dokumentacji techniczno-inwestycyjnej w dzielnicach lub osiedlach (program NettGraf GIS).
2. Typowanie obszarów oraz montaż wodomierzy rozliczeniowych w wyznaczonych strefach dystrybucji wody.
3. Archiwizowanie charakterystyk przepływów godzinowych i ciśnienia (rejestratory CDL oraz program CDLWin).
4. Regulacja sieci, w tym montaż reduktorów ciśnienia oraz falowników w pompowniach osiedlowych.
5. Wytypowanie sieci wodociągowej do AKW.

6.6. Metoda określania strat pozornych w opomiarowanych strefach sieci

Jeśli $W_s \leq 1,3\%$, a $W_{NZ} \geq 1,10 W_{SD}$, to zgodnie z procedurą na podstawie otrzymanych danych z działu HK bilansu V_{NZ} wody dostarczonej, pobranej i sprzedanej, dział TW:

- rejestruje charakterystyki przepływów godzinowych i ciśnienia i oblicza wskaźniki W_s , W_{NZ} , W_{SD} ;
- jeśli $W_s \leq 1,3\%$, a $W_{NZ} \geq 1,10 W_{SD}$, występuje rozbieżność wskaźników szczelności. Dział TW przystępuje w małych strefach i dzielnicach do wizualnej kontroli przepływów na wodomierzach głównych po zamknięciu wszystkich punktów odbioru wody;
- w przypadku braku przepływu na wodomierzu głównym, po zamknięciu zasuw odbiorców, różnice bilansowe są wynikiem występowania strat pozornych.

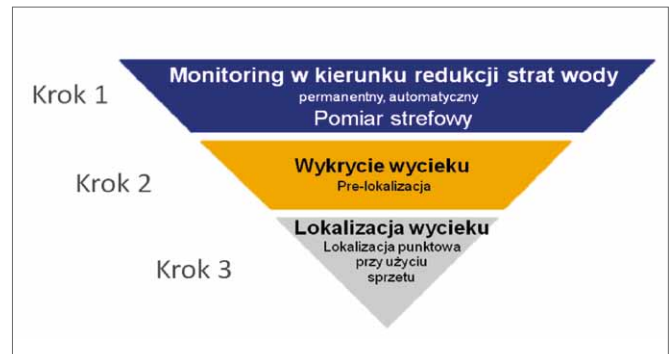
6.7. Lokalizacja awarii – wycieków

Należy dopracować pewien tok postępowania w przypadku kontroli prawidłowego funkcjonowania sieci, zgodnie z którym określona jest następująca metodyka podejmowania działań:

- określenie stref (obszarów) najbardziej narażonych, gdzie straty są najwyższe, oraz opracowanie harmonogramu kontroli;
- wykrycie wycieku za pomocą stałego pomiaru przepływu i ciśnienia w danej strefie oraz określenie poziomu wielkości strat;
- precyzyjna lokalizacja wycieku w terenie przez brygady diagnostyczne;
- zastosowanie racjonalnego priorytetu w usuwaniu zlokalizowanych wycieków oraz szybka ich likwidacja.

Celem aktywnej kontroli i likwidacji przecieków w przedsiębiorstwie jest utrzymanie rzeczywistych strat na poziomie minimalnym, co polega na maksymalnym skróceniu czasu od lokalizacji awarii do jej usunięcia.

Do wykrywania przecieków w sieci wodociągowej zasadniczo wykorzystuje się dwie metody:



Rys. 3. Zintegrowany System Zarządzania Wyciekami Wody

- akustyczna;
- korelacyjna.

6.8. Ocena stref monitorowanych

Należy dla jednej ze stref, najlepiej średniej wielkości, wdrożyć radiowy system odczytu wodomierzy, co pozwoli na określenie minimalnych rozbiorów nocnych. Daje to możliwość wyeliminowania wątpliwości co do prawidłowego określenia wielkości jednostkowych strat wody. Jednocześnie odczytów wodomierzy i pomiar przepływu w komorze pomiarowej pozwoli na precyzyjne ustalenie poziomu strat wody (rys. 1).

Należy również wprowadzić monitorowanie dla przepompowni podwyższających ciśnienie w celu uzyskania informacji o zakresie i wielkości rozbiorów wody w innych strefach, co pozwoli na lepszą ocenę zarówno zasadności pracy, jak i ich wpływu na straty wody

7. Wpływ regulacji ciśnienia na straty wody

Regulacja ciśnienia ma bardzo istotne znaczenia oraz ogromny wpływ na eksploatację, warunki pracy sieci oraz jej żywotność. Każdy wodociąg poddawany jest oddziaływaniom zewnętrznym, takim jak:

- nieregularne rozbiory;
- zmienne ciśnienie (w tym uderzenia hydrauliczne);
- niekontrolowane wycieki.

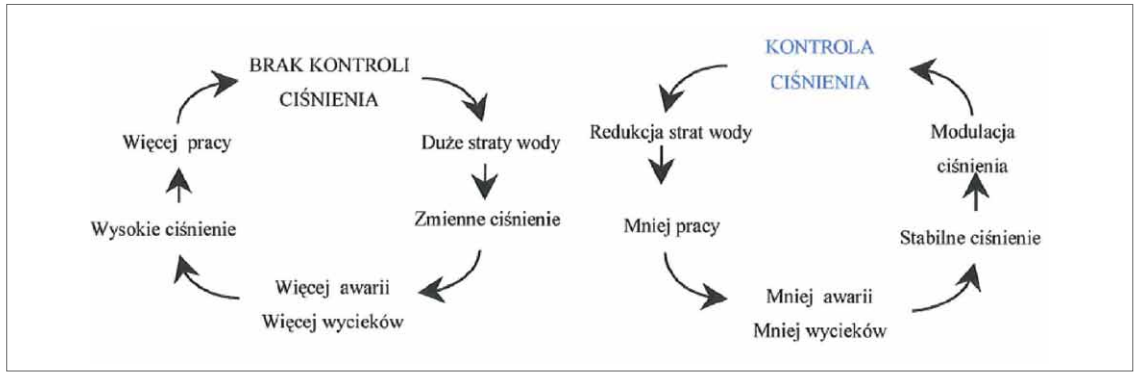
Praca układów redukcyjnych powinna cechować się również niską energochłonnością. Takie nowoczesne podejście do regulacji ciśnienia w celu automatyzacji oraz ograniczenia strat wody z wycieków i nieszczelności rozwiązywane jest najczęściej przy pomocy zaworów regulacyjnych ZRC (Zawór Regulacji Ciśnienia). Natężenie wypływu wody przez otwór o zadanej średnicy dla ciśnienia 0,6 MPa jest znacznie większe niż dla ciśnienia 0,2 MPa. Przy stałym ciśnieniu wypływ rośnie proporcjonalnie ze wzrostem pola powierzchni otworu (rys. 5).

Ograniczenie ciśnienia pozwala znacznie zmniejszyć wypływ wody z nieszczelności, czyli straty wody do gruntu, pozwala chronić przewody przed awariami. Dużym problemem są uszkodzenia z wypływem poniżej $q = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$, które praktycznie są nie do wykrycia.

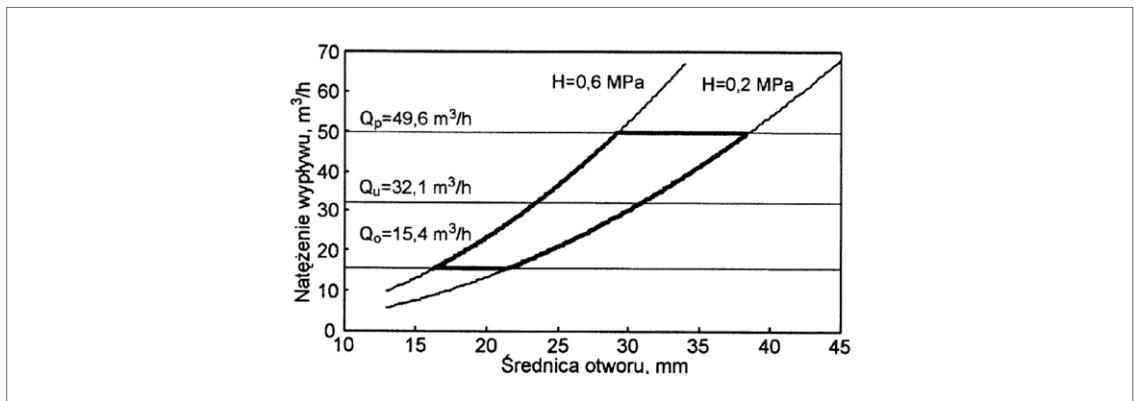
Istotny wpływ na obniżenie ucieczki wody z takich nieszczelności i uszkodzeń – awarii ma właśnie regulacja ciśnienia.

Rozpatrując wpływ ciśnienia na straty wody, trzeba wziąć pod uwagę również problem inkrustacji, osadów korozyjnych oraz innych odkładających się w przewodach. W czasie eksploatacji

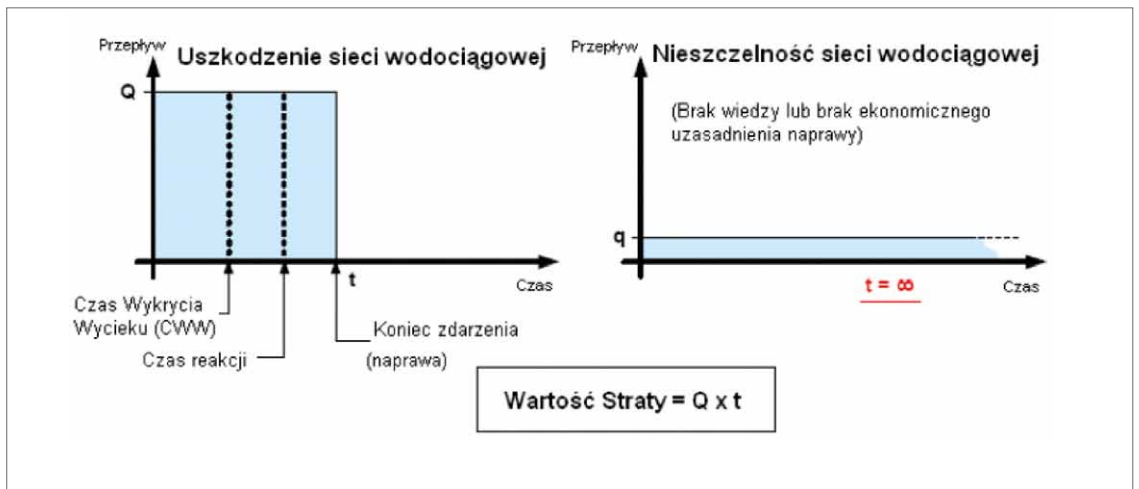
Rys. 4. Korzyści ze stosowania regulacji ciśnienia [3]



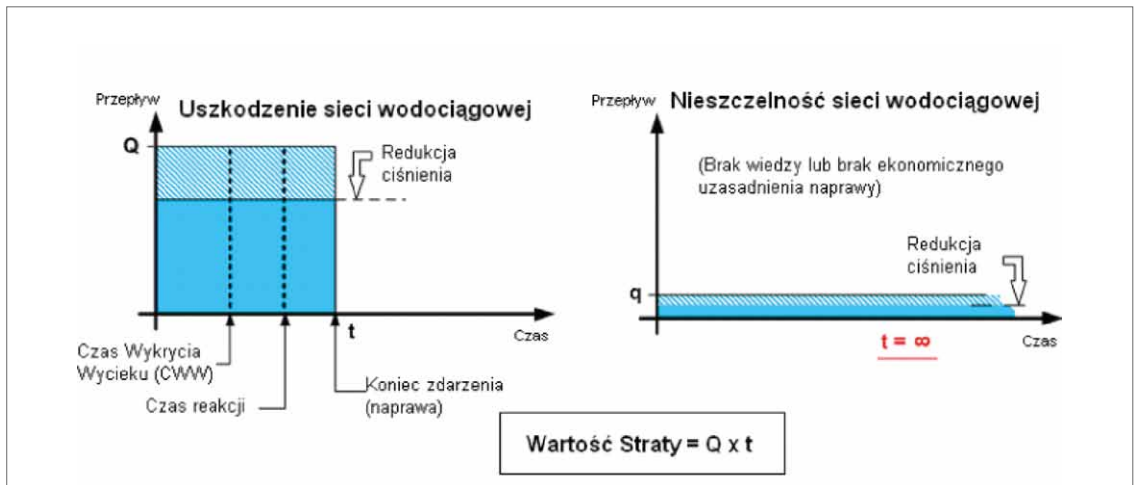
Rys. 5. Natężenie wypływu przez otwór ostrobrzeżny [2]

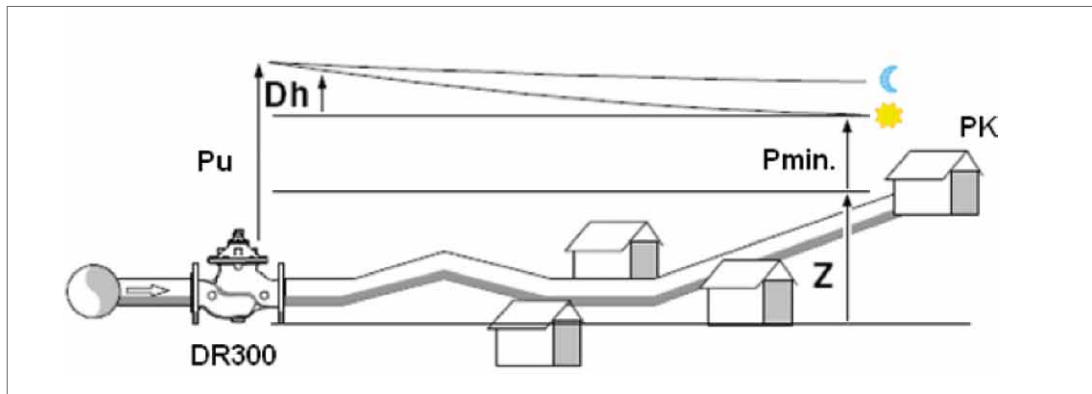


Rys. 6. Porównanie dwóch typów wycieku przy dobrze eksploatowanej sieci: awarii i nieszczelności [5]

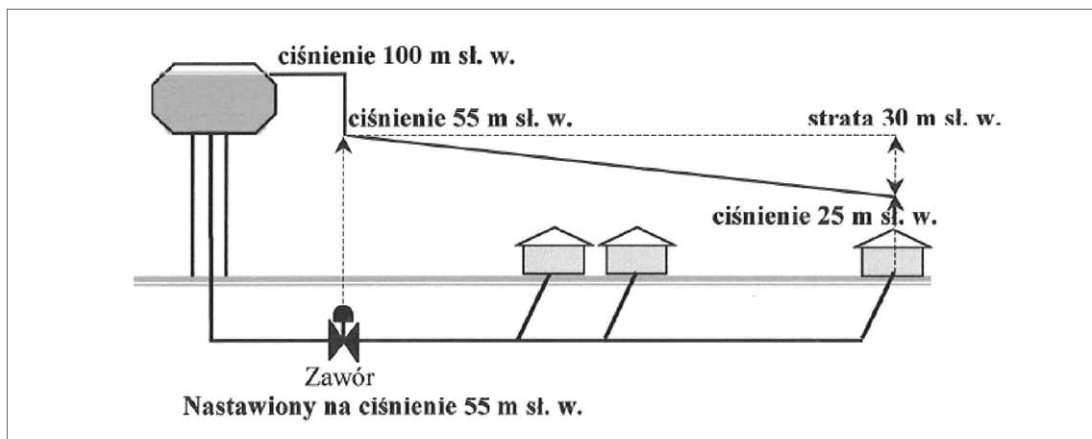


Rys. 7. Wpływ redukcji ciśnienia na dwa rodzaje wycieków: awarii i nieszczelności [5]





Rys. 8. Ustawienie ciśnienia wyjściowego na regulatorze ciśnienia, gdzie Dh jest stratą przy przepływie, Z jest różnicą wysokości PK i regulatora ciśnienia, $P_{min.}$ jest minimalnym wymaganym ciśnieniem u odbiorcy. Należy zwrócić uwagę, iż podczas niskiego zapotrzebowania (przepływ nocny) ciśnienie $P_{min.}$ wzrośnie w związku z niższymi stratami ciśnienia [5]



Rys. 9. Przykład zastosowania zaworu regulacji ciśnienia [5]

przekrój przewodu zwęża się, wzrasta oporność przepływu oraz spadek ciśnienia co powoduje podniesienie poziomu strat. Po zwiększeniu ciśnienia w sieci może nastąpić zerwanie inkrustacji oraz wleczenie osadów. Oderwane elementy mogą odsonić pęknięcia oraz wżery korozyjne, które dodatkowo zwiększają liczbę awarii i tym samym objętość traconej wody.

7.1. Rozwiązywanie problemów regulacji ciśnienia

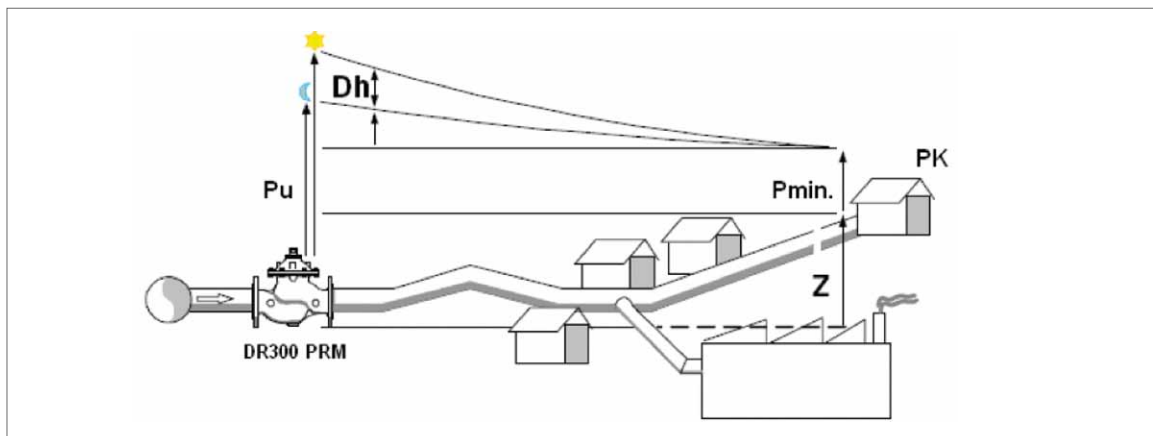
Sposobów redukcji ciśnienia jest kilka, nie wszystkie są jednak efektywne oraz mogą dawać wymierne korzyści. Jednym ze sposobów regulacji jest też przemykanie zasuw lub przepustnic. Podana metoda rozwiązuje problem tylko pozornie poprzez dławienie zasuw lub przepustnicy. W efekcie rozwiązanie powoduje przy niskim ciśnieniu podwyższenie, a przy wysokim ciśnieniu obniżenie ciśnienia, problemem jest mała elastyczność zastosowanego rozwiązania i zgubne zjawisko kawitacji.

Sposoby regulacji ciśnienia możemy podzielić na:

- **regulację zaworami redukującymi ciśnienie** – z różnymi opcjami sterowania dzień/noc lub z dwoma szczytami dziennymi i jednym nocnym. Wyróżniamy tu różne budowy i typy zaworów redukcyjnych, np.: zawór sprężynowy. Konstrukcja tego zaworu jest niedostosowana do pracy w sieciach wodociągowych, gdzie występują duże, szybkie i częste wahania ciśnienia w ciągu doby. Takie częste i nierównomierne rozbiory powodują niestabilną pracę oraz wahania ciśnienia w zakresie 1,0–2,5 bara. Dobrym i efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie regulacji poprzez zawór hydrauliczny, który pozwala na regularną i stabilną pracę, a wielkość rozbiórów nie ma znaczenia;

- **modulację ciśnienia zasilania sieci** – ciśnienie w sieci możemy również regulować w pompowni sieciowej, zmieniając częstotliwość obrotów silnika pompy przy pomocy falownika lub regulując liczbą działających pomp. Drugie rozwiązanie jest mniej popularne, ponieważ współczesne pompownie działają w układzie modułów równo obciążonych. Zadanie to jest bardziej skomplikowane, ponieważ aby osiągnąć wymagany zakres regulacji ciśnienia w istniejącej pompowni, trzeba ją zmodernizować, co wiąże się ze sporymi nakładami finansowymi;
- **sterowanie ciśnieniem zasilania punktu krytycznego** – zastosowanie zaworów regulujących ciśnienie powoduje utrzymanie stałego poziomu ciśnienia w ciągu doby. W godzinach nocnych, gdy w sieci jest ono największe ze względu na relatywnie niski rozbiór, praca zaworu jest najistotniejsza. Za sterowanie pracą odpowiedzialny jest sterownik zewnętrzny. Wyróżniamy kilka rodzajów takich sterowników: sterowniki pneumatyczne, sterowniki hydrauliczne oraz sterowniki mechaniczne. Zasada działania podanych sterowników polega na kontroli ciśnienia wyjściowego za reduktorem, porównania z zadaniem ciśnieniem w odpowiednim profilu sterowania i regulacji, a w przypadku, gdy odchylenie przekracza zadaną wartość, następuje modyfikacja przez zawór pilotowy reduktora ciśnienia. Każdy reduktor ciśnienia musi być zabezpieczony na wypadek awarii lub uszkodzeń. Wyróżnić możemy zabezpieczenie w przypadku uszkodzenia przetwornika ciśnienia (np. w przypadku zamarznięcia), sterownik mechaniczny jak i pneumatyczny zamykają zawór główny. Sterownik hydrauliczny zamyka i otwiera w takim przypadku zawór aż do momentu osiągnięcia ustawionego mechanicznie minimalnego

Rys. 10. Typowa instalacja z zastosowaniem regulatora z podwójną nastawą ciśnienia [5]



lub maksymalnego ciśnienia. Bardzo ważnym momentem eksploatacji zaworów redukcyjnych jest rozruch początkowy. Każdy sterownik powinien być ustawiany i regulowany indywidualnie ze względu na różnorodność sieci oraz indywidualne warunki pracy.

7.2. Przykładowe efekty regulacji ciśnienia

Działania związane z redukcją ciśnienia w systemie czasowym, realizowane w trzech strefach od 2009 roku, pozwoliły na [9]:

- w strefie G1 obniżenie ciśnienia średnio o 9%, zmniejszyły straty wody w tej strefie o ok. 25%;
- w strefie G2 zmniejszono ciśnienie miesięcznie średnio o ok. 20%. Średni miesięczny przepływ zmniejszył się o ok. 49% w ciągu miesiąca po zmianie. Rozkład dobowy pokazuje, że ciśnienie zmniejszono o ok. 1%, a przepływ o 11%. Analiza minimalnego nocnego przepływu w godzinach nocnych między 1:00 a 4:00 w tej strefie wykazuje zmniejszenie przepływów praktycznie do 0, co może wskazywać na brak wycieków w tej strefie. Ciśnienie w tych godzinach zmalało o 4%. Straty całkowite w tej strefie zmniejszyły się o 19%;
- w strefie G3 zainstalowanie sterownika w zaworze regulacyjnym zmniejszyło ciśnienie średnio o 0,5%, a przepływ o ok. 8,5% w ciągu miesiąca. Dobowy rozkład ciśnienia oraz przepływu wskazuje na zmniejszenie ciśnienia o 7%, a przepływu o ok. 7,8%. Analiza minimalnego nocnego przepływu w godzinach 1:00–4:00 pokazuje spadek przepływu średnio o 55%, a ciśnienia o 36%. Taki obraz danych może również wskazywać na obecność wycieku w tej strefie. Straty dla całej strefy zmniejszyły się średnio o ok. 30%.

Analizując awaryjność sieci wodociągowej eksploatowanej przez dystrybutora, można stwierdzić, że w latach:

- 2009–2010 awaryjność spadła o 22%;
- 2010–2011 awaryjność spadła o 18%;
- 2011–2012 awaryjność wzrosła o 17%.

Dla wszystkich trzech stref stwierdzono średnie obniżenie awaryjności o ok. 20% w strefach, gdzie zainstalowano sterowniki w zaworach regulacyjnych. A ogólna awaryjność całej sieci eksploatowanej przez dystrybutora w latach 2009–2012 spadła o ok. 7,7% [9].

Podsumowanie

Z analizy kilkunastu systemów wodociągowych przeprowadzonej przez autora wynika, że największy wpływ na straty

wody mają awarie stalowych przewodów sieci wodociągowej. Zaniechanie wymiany tych rur sieci wodociągowej prowadzi do odczuwalnego zwiększenia awaryjności i strat wody. Poprzez wymianę rur i armatury sieci wodociągowej można uniknąć wielu wycieków, nad którymi bardzo ciężko w wielu przypadkach zapanować. W miarę postępu wymiany sieci, a zwłaszcza przyłączy wodociągowych, jak wynika z analiz w różnych miastach, odczuwa się wyraźne obniżenie poziomu strat wody w systemie wodociągowym do pewnego poziomu PWS = 15–20%.

Mając na uwadze koszty działań redukujących straty wody, wymiana, odnowa – rehabilitacja przewodów sieci wodociągowej jest najdroższa. Niemniej jednak jest działaniem nieuniknionym i zwykle nie wykonuje się jej w odniesieniu do całości sieci, lecz do wybranych fragmentów wytypowanych jako najbardziej awaryjne odcinki.

W celu ograniczania strat wody w systemie dystrybucji, czy też lepiej w konkretnej wydzielonej strefie zasilania, niezbędne jest podejście systemowe do problemu.

W pierwszym etapie należy dokładnie i rzetelnie wykonać bilans wody w oparciu o wyniki pomiarów z monitoringu przepływów, wykonać obliczenia wskaźników technicznych, przechodząc do wyznaczenia ekonomicznego poziomu wycieków. Ustalenie powyższych wielkości jest nieocenioną pomocą dla typowania działań Aktywnej Kontroli Wycieków (AKW), naprawczych czy też inwestycyjnych.

Monitoring w systemie dystrybucji wody jest głównym narzędziem związanym z dokładnym określeniem wielkości – poziomu strat wody. Monitoring dostarcza informacji niezbędnych do oceny minimalnych przepływów nocnych (MNP), pozwala na ocenę przekroczenia stanów awaryjnych.

Niestety ujawnienie wszystkich nieszczelności w sieci za pomocą monitoringu, szczególnie małych wycieków, jest w praktyce niemożliwe. Z tego powodu równoległe do monitoringu duże znaczenie w obniżaniu strat wody ma Aktywna Kontrola Wycieków (AKW), w ramach której dokonywane są przeglądy wyznaczonych obszarów sieci wodociągowej za pomocą urządzeń takich, jak rejestratory przepływów ze zdalnym przekazem danych, permalogi, geofony oraz korelatory.

Dla uzyskania w pełni rzetelnego bilansu strat należy w każdej strefie wprowadzić wodomierze z radiowym odczytem. Pozwoli to w pełni wykorzystać monitoring do analizy ekonomicznego poziomu strat. Po wprowadzeniu tych odczytów należy usta-

lić progi alarmowe w monitorowanej strefie dla Minimalnych Nocnych Przepływów (MNP).

Należy prowadzić działania w celu ewidencjonowania odczytów odbiorców podejrzanych o manipulacje przy poborze wody.

Wprowadzić zasadę wymiany odcinków sieci o wskaźniku uszkodzeń – awaryjności $\lambda > 0,5$ uszk/km rok, co pozwoli na wymianę najbardziej awaryjnych rur stalowych.

Należy rozważyć opracowanie procedur i uporządkowanie rodzaju wykonywanych prac przez poszczególne Wydziały Przedsiębiorstwa zajmujące się dystrybucją wody, uporządkować sposób organizacji prac poszczególnych brygad. Uporządkować i usprawnić przepływ informacji pomiędzy poszczególnymi Wydziałami, których dane są niezbędne do podejmowania trafnych decyzji dla likwidacji awarii i ograniczenia strat wody.

Należy przygotować grupy wskaźników, które powinny zostać wdrożone i sprawdzone w pierwszej kolejności w strefach w pełni opomiarowanych.

Natomiast planując w szerszym aspekcie regulację pracy systemu dystrybucji wody, należy pamiętać o zgubnym działaniu wysokiego ciśnienia oraz jego nagłych wahań. Korzystnym rozwiązaniem powinna być budowa systemu zarządzania ciśnieniem.

Sprawne dostarczanie wody powinno być oparte na komunikacji pompowni lub reduktorów ciśnienia z charakterystycznymi punktami sieci, wyposażonymi w przetworniki ciśnienia. W takim przypadku pompownie i zawory redukcyjne nie będą pracować na sztywnych nastawach, ale mogą dostosowywać wysokość ciśnienia, w określonych granicach, do aktualnych rozbiorów. Zakładając powyższe, w łatwy sposób można minimalizować ciśnienie w godzinach nocnych, nie wywołując niepożądanych nagłych jego zmian, co często prowadzi do wywołania uderzenia hydraulicznego i awarii – strat wody.

Na efekty działania monitoringu duży wpływ mają zastosowane urządzenia, właściwie lub niewłaściwie wybrane punkty pomiaru, a także sposób podłączenia tych urządzeń oraz wykorzystanie tych danych do bezpośredniej wnikliwej analizy. Stałemu monitoringowi nie musi podlegać cały system dystrybucji. Część sieci może być sprawdzana pod względem przepływu i ciśnienia za pomocą dostępnych przenośnych rejestratorów, które pozwalają na weryfikację informacji mieszkańców np. o niskim ciśnieniu w sieci lub umożliwiają znalezienie rejonu o zbyt wysokim ciśnieniu i ewentualnych awariach.

Prowadząc opisane działania, można doprowadzić do ograniczenia poziomu strat nawet do PWS = 8–10%, co już jest bardzo dobrym wynikiem, potwierdzonym w kilku krajowych systemach dystrybucji.

Należy przyznać, że osiągnięte wyniki obniżenia strat mogą być zadawalające, jednak zaprzestanie inwestycji i działań organizacyjnych w celu ich ograniczenia może doprowadzić do zmiany tendencji obniżenia poziomu strat.

9. Wnioski


1. Podejmowane działania dotyczące ograniczenia strat wody powinny być prowadzone jednocześnie jako działania organizacyjne, remontowe i modernizacyjne oraz inwestycyjne w systemie dystrybucji.
2. Niezbędne są inwestycje i zakup sprzętu oraz wyodrębnienie grupy pracowników zajmujących się problemem

strat wody na różnych szczeblach struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa i zarządzania.

3. Bez prawidłowo wykonanego monitoringu przepływu, ciśnienia i dokładnych pomiarów z możliwością przekazu tych danych nie można mówić o poprawnej ocenie strat wody.
4. Bardzo małe wycieki w sieci wodociągowej (poniżej 0,2–0,5 m³/h km) są bardzo trudne do wykrycia. Należy ze względów ekonomicznych określić poziom wycieków w sieci wodociągowej dla dobrze utrzymanego systemu dystrybucji, którego dalsze zmniejszanie w przeciętnych warunkach nie ma już sensu.
5. Każdy wydzielony obszar sieci jest indywidualny ze względu na warunki pracy, różnorodność terenu, zastosowane materiały, długość przewodów, ciśnienie pracy i przepływy.
6. Regulacja i redukcja ciśnienia obniżają wycieki z nieszczelności i powodują obniżenie strat wody.
7. Regulacja ciśnienia wydłuża bezawaryjny czas pracy przewodów i obniża wskaźniki awaryjności sieci.
8. Każde przedsiębiorstwo powinno subiektywnie podejść do regulacji ciśnienia w sieci i monitoringu, rozważając indywidualne warunki pracy danej sieci oraz biorąc pod uwagę ekonomiczne i eksploatacyjne aspekty systemu dystrybucji wody.

Literatura

- [1] LAMBERT A., HIBNER W.: *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. The Blue Pages, IWA 10/2000.
- [2] HOTŁOŚ H.: *Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacji sieci wodociągowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [3] YI WU ZHENG I INNI, PRACA ZBIOROWA: *Water loss reduction*. Bentley Institute Press Pennsylvania. 2011.
- [4] PIECHURSKI F.: *Monitoring i jego efekty w eksploatacji systemu wodociągowego*. „Napędy i Sterowanie” 11/2007.
- [5] NIEBEL D. I INNI: VAG – *Guidelines for water loss reduction. A focus on pressure management*. Eschborn. 2011.
- [6] SPERUDA S.: *Optymalny poziom strat wody z wycieków w sieci wodociągowej*. Akademia strat wody WaterKEY, Warszawa 2011.
- [7] PIECHURSKI F.G.: *Przyczyny i skutki awarii uszkodzeń w sieci wodociągowej*. Instal. 4/2011, s. 42–47.
- [8] PIECHURSKI F.G.: *Możliwości rozwiązania monitoringu sieci wodociągowej i jego efekty*. „Technologia wody” 3/2010, s. 6–15.
- [9] PIECHURSKI F.G., SUSEK M.: *Efekty wdrożenia systemu monitoringu i sterowania ciśnieniem*. Mat. Konferencji V Straty wody w systemach wodociągowych. 26–27.09.2013. Ustroń. Dendros s. 65–57.
- [10] PIECHURSKI F.G.: *Sposoby zmniejszania strat wody*. „Rynek Instalacyjny” (cz. 1) 11/2011 s. 74–76; (cz. 2) 12/2011, s. 72–75.
- [11] PIECHURSKI F.G.: *Straty wody i sposoby skutecznego ich ograniczenia w systemach dystrybucji*. „Inżynier Budownictwa” 11/2013, s. 84–89.

 dr inż. Florian Grzegorz Piechurski – docent, Politechnika Śląska, Gliwice, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków

artykuł recenzowany