

Florian G. PIECHURSKI

INSTYTUT INŻYNIERII WODY I ŚCIEKÓW
POLITECHNIKA ŚLĄSKA W GLIWICACH

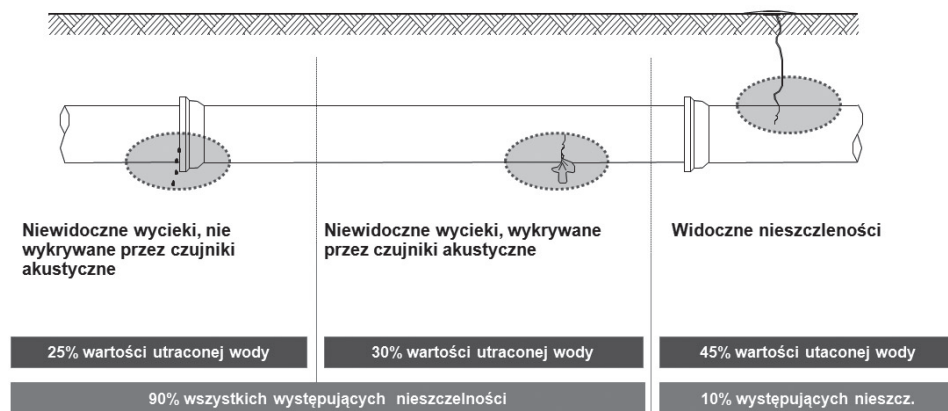
OCENA EFEKTÓW WDROŻENIA MONITORINGU I ZARZĄDZANIA CIŚNIENIEM W SIECI DYSTRYBUCJI WODY

RATING OF MONITORING AND PRESSURE MANAGEMENT INTRODUCTION IN WATER DISTRIBUTION NETWORK

Introducing water monitoring system opens wide range of new possibilities to control it in the scope of flow analysis in measurement points (water buy and sell) and pressure control. Flow observation, especially during night hours facilitates achieving information about leak appearance and allows faster maintenance crew mobilization which leads to smaller water loses. Pressure management is useful tool that could significantly reduce water loses in exploited water distribution network. Managing flow we influence on failures amount and water loses especially during night hours. Reducing pressure we can reduce water lost to ground due to leakages and protects the ducts as well.

1. Wprowadzenie

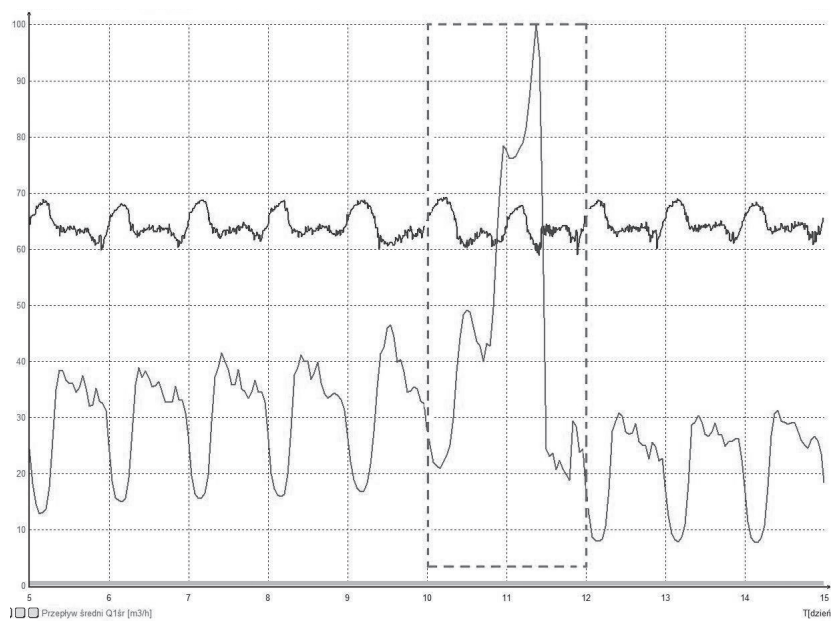
Główny problem w eksploatacji systemów dystrybucji wody to braki jej dostawy odbiorcą spowodowane awariami lub zbyt niskim ciśnieniem. Awarie powodują ogólnie straty wody (rys.1). Całkowite straty wody to różnica wynikająca między objętością wody wtłoczonej do sieci wodociągowej a zużyciem wody przez odbiorców. Do prawidłowej oceny strat i awaryjności służą pomiary i monitorowanie parametrów pracy sieci. Wyniki z tych pomiarów pozwalają poprawności rozliczenia się z odbiorcami za świadczenie usług i na ocenę stanu technicznego sieci. Problemy występowania awarii a co za tym idzie i strat wody występuje we wszystkich wodociągach na świecie.



Rys. 1. Wystąpienie awarii i ich wpływ na poziom strat wody w sieci wodociągowej [2]

Fig. 1. Failure appearance and its influence on water distribution network [2]

W wyniku monitoringu przepływu w wydzielonych strefach pozwala w szybki sposób zauważyć problemy związane nadmiernymi rozbiorami wody (rys.2) Tylko dzięki wdrożeniu monitoringu przepływu w systemie dystrybucji wody firmy eksploatujące są w stanie w odpowiedni sposób zareagować na prawdopodobne wystąpienie awarii.



Rys. 2. Monitoringu przepływu w sieci – możliwość wykrycia wycieku – awarii.

Fig. 2. Monitoring in the network - possibility of leak detection - failure.

Monitoring i zarządzanie ciśnieniem i zarządzanie opiera się na analizach związanych z jego pomiarem i odpowiednią regulacją związaną z minimalizacją w zależności od potrzeb. Obecnie dostępne urządzenia technologiczne i aplikacje oprogramowania pozwalają na realne obniżenia ciśnienia do wymaganych potrzeb pozwalających na dostarczenie wody wszystkim odbiorcą w stanach bezawaryjnych.

2. Straty wody

Obecnie IWA (International Water Association) zaleca przedsiębiorstwom standard dotyczący tworzenia rocznego bilansu wody. Standardowy bilans dzieli wodę włączoną do sieci jej dystrybucji na dwie grupy: wodę zużytą na konsumpcję i straty (rys.3).

Straty rzeczywiste to utrata wody w wyniku nieszczelności do gruntu i wycieków na powierzchnię terenu (rys.1). Na wielkość strat pozornych wody wpływają niedokładność pomiaru objętości wody dostarczonej do sieci i zużytej przez odbiorców oraz brakiem możliwości jednoczesnych odczytów przyrządów pomiarowych. Można przyjąć uproszczoną definicję, że straty pozorne to objętości utraconej wody w wyniku jej nieracjonalnego zużycia z przyczyn zależnych – nieprawidłowe pomiary i niezależnych od zarządzającego siecią wodociągową np. kradzieże wody.



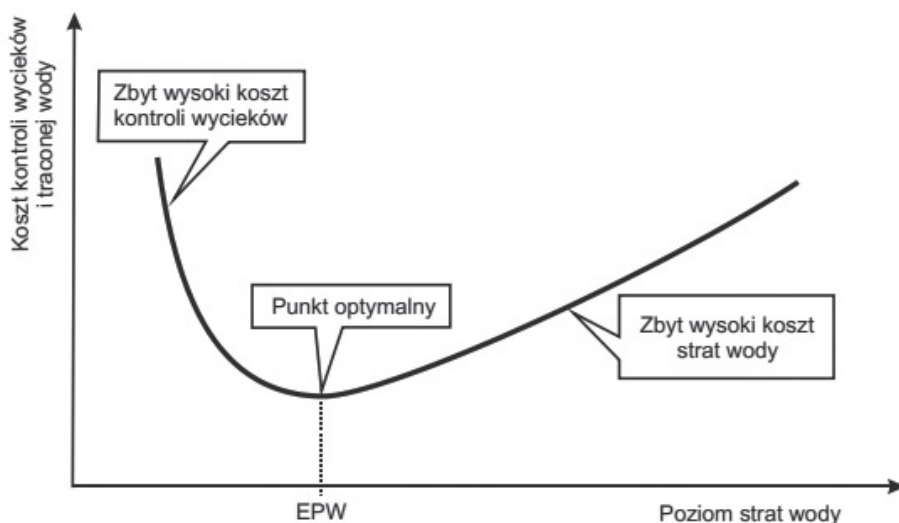
Rys. 3. Bilans wody w systemie dystrybucji (sieci wodociągowej) [1]

Fig. 3. Water balance in distribution network [1]

Straty rzeczywiste - są wynikiem złego stanu technicznego materiału przewodów i połączeń oraz armatury. Na wielkość strat wpływają głównie awarie w sieci rozdzielczej oraz bardzo często w przyłączach wodociągowych. Rys.1 przedstawia problemy z wykrywaniem wycieków w sieci a rys. 2 pokazuje możliwości oceny wielkości strat na podstawie analizy pomiarów nocnych przepływów w monitorowanej strefie dystrybucji wody.

Określenie wielkości strat ściśle wiąże się ze sporządzeniem bilansu (rys.3). W celu wykonania poprawnego bilansu zużycia wody, obszar systemu dystrybucji należy podzielić na strefy pomiarowe i prowadzić monitorowane przepływy. Taki podział również ułatwia rozwiązywanie wielu problemów eksploatacyjnych takich jak: wstępna informacja o wyciekach (rys.2). Pozwala też na lepszą kontrolę pracy sieci jak również selekcje obszarów wykazujących odmienne parametry pracy od reszty systemu. Rzetelny bilans powinien opierać się na dobrych jakościowo urządzeniach pomiarowych, wyniki, z których są wiarygodne.

Dla każdej firmy wodociągowej ważny jest rachunek ekonomiczny, w którym istotne są koszty związane z objętością wody traconej w systemie jej dystrybucji. Należy zauważyć, że dla każdego dostawcy wody wyprodukowanej a niesprzedanej jest stratą z punktu widzenia ekonomicznego. Każde inne podejście do określenia strat jest próbą usprawiedliwiania rzeczywistości i nie służy do obiektywnej ich oceny w konkretnym systemie dystrybucji.



Rys. 4. Ekonomiczny poziom wycieków. [4]
Fig. 4. Water balance in distribution network [1]

O optymalnym poziomie strat decydują koszty traconej wody oraz koszty poszukiwania wycieków (rys.4). Minimalizacja poziomu strat doprowadza do obniżenia kosztów eksploatacji. Każdy system dystrybucji wody posiada indywidualny optymalny poziom wycieków, który zmienia się w trakcie eksploatacji, a w szczególności dotyczy to różnych jej obszarów. Ekonomiczny Poziom Wycieków (EPW) w sieciach wodociągowych został wprowadzony, jako wymóg dla przedsiębiorstw branży wodociągowej po raz pierwszy w latach 80-tych ubiegłego wieku na Wyspach Brytyjskich. Następnie wprowadziła go do swoich normatywów IWA. [4]

Jest to optymalny poziom wycieków, dla którego koszty strat z wycieków równają się kosztami usuwania wycieków. Lub innymi słowy jest to poziom strat wody, przy którym koszt krańcowy redukcji wycieków równa się krańcowym kosztom traconej wody.

3. Redukcja ciśnienia – obniżenie poziomu wycieków

Zarządzanie ciśnieniem to tylko jedno z wielu narzędzi redukcji wycieków, które możemy zastosować najlepiej w połączeniu z innymi technologiami. Badania [2, 5] dowodzą, że wielkość wycieków (rys.5) i ich częstotliwość została zmniejszona przez redukcję i stabilizację ciśnienia w systemie dystrybucji. Oczywiście nie wszystkie systemy zniosą redukcję ciśnienia, niektóre cierpią na jego niedobór. Jednakże istnieje wciąż wiele narzędzi, zarządzania ciśnieniem, które można zastosować w takich przypadkach. W konkretnej sytuacji kontrola ciśnienia może być efektywnym sposobem uniknięcia niechcianych poborów. Prosty przykład:, gdy ktoś myje zęby przez pięć minut podczas wysokiego ciśnienia i niskiego ciśnienia. Przy otwartej baterii czerpalnej zużycie wody w drugim przypadku będzie dużo niższe.



Rys. 5. Obniżenie objętości traconej wody w zależności od ciśnienia w sieci [5]

Fig. 5. Decreasing lost water capacity depending on network pressure [5]

Wielu eksploatujących sieci wodociągowe nie chce redukować ciśnienia, ponieważ odbije się to negatywnie początkowo na zyskach. Natomiast spora część eksploratorów sieci doszła do wniosku, że bardziej opłacalnym jest zmniejszenie ciśnienia jak i poborów niż jego podwyższenie dla uzyskania lepszej jakości dostaw w czasie największych poborów co wiąże się z zwiększeniem wycieków (rys.5). Zrządzający siecią z bezpośrednim systemem redukcji ciśnienia powinien dokładnie przeanalizować odbiorców indywidualnych oraz zakłady przemysłowe, aby odbiorcy ci nie ucierpieli na redukcji ciśnienia poza zmianą czasu napełnień np. zbiorników wody.

3.1 Techniczne rozwiązywanie problemów regulacji ciśnienia

Istnieje kilka rozwiązań technicznych redukcji ciśnienia, nie wszystkie są jednak efektywne oraz dają wymierne korzyści. Sposoby regulacji możemy ogólnie podzielić na kilka rozwiązań.

Zawory dławiące.

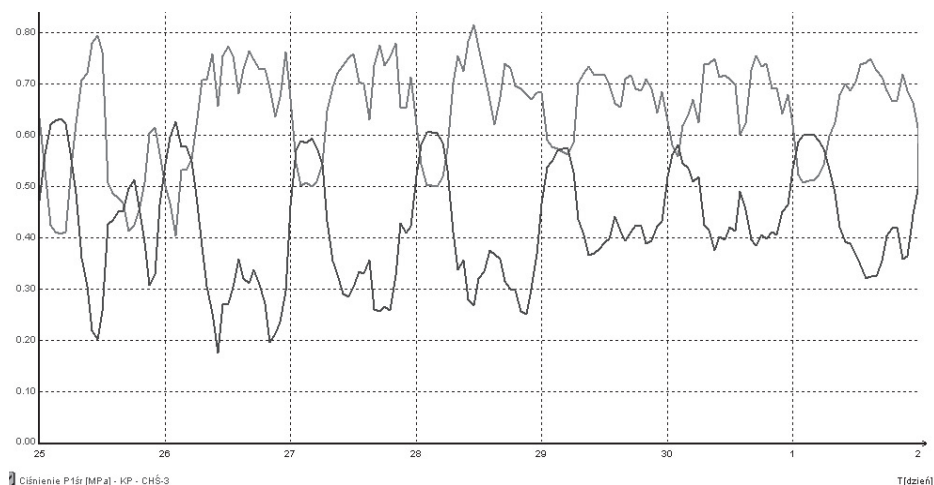
W niektórych systemach dystrybucji wody i ich właściciele redukcję ciśnienia prowadzą przy pomocy częściowego przymknięcia zaworów klapowych czy przepustnic. Metoda ta jest najmniej efektywna z wszystkich, a ciśnienie zmienia się razem ze zmianą wielkości poborów. Pojawiają się duże różnice ciśnień między nocą gdzie pobory są mniejsze, a dniem gdzie pobory rosną. Powoduje to sytuacje, gdy odbiorca w momencie potrzeby nie uzyskuje wymaganych parametrów. Problemem jest mała elastyczność zastosowanego rozwiązania i w zasadzie można mówić o brak regulacji.

Modulację ciśnienia zasilania sieci.

Ciśnienie w sieci możemy również regulować w pompowni sieciowej zmieniając częstotliwość obrotów silnika pompy przy pomocy falownika, lub regulując liczbą pracujących 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 z nakładami finansowymi.

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. Zawór sprężynowy, konstrukcja takiego zaworu jest niedostosowana do pracy w sieciach wodociągowych gdzie występują duże i szybkie wahania rozbiorów w ciągu doby. Takie częste i nierównomierne rozbiory powodują niestabilną pracę oraz wahania w zakresie 1,0- 1,5 bar ciśnienia. Efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie do regulacji zaworu hydraulicznego, który pozwala na regulację i stabilną pracę, a wielkość rozbiorów nie ma większego znaczenia.

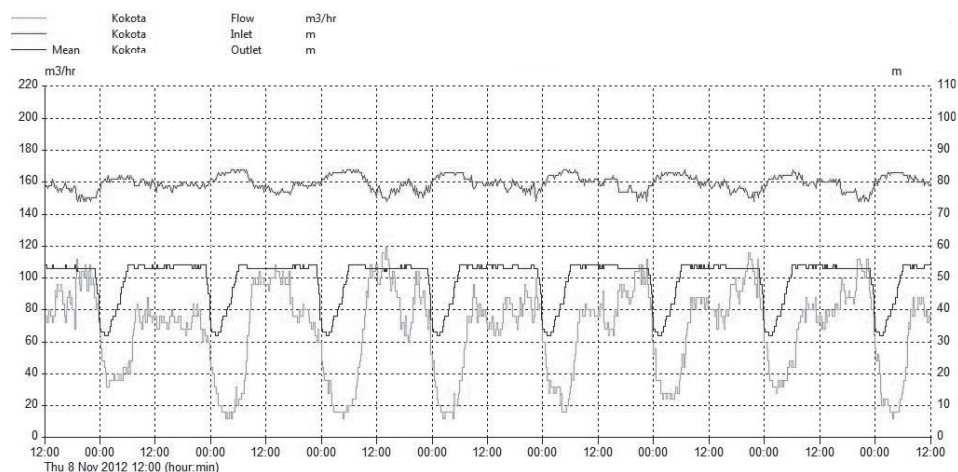


Rys. 6. Monitoring przepływu i ciśnienia w wydzielonej strefie sieci dystrybucji wody bez regulacji
Fig. 6. Flow and pressure monitoring in separated area in water distribution network without control.

Sterowanie ciśnieniem zasilania punktu krytycznego.

Zastosowanie zaworów regulujących ciśnienie ZRC daje możliwość utrzymania stałego poziomu ciśnienia w ciągu doby. W godzinach nocnych (rys.6), gdy w sieci jest ono największe ze względu na relatywnie niski pobór wody praca zaworu jest najistotniejsza. Za sterowanie pracą odpowiedzialny jest sterownik zewnętrzny. Istnieje kilka rodzajów takich sterowników: pneumatyczne, hydrauliczne oraz mechaniczne. Zasada działania podanych sterowników polega na kontroli ciśnienia na wypływie za reduktorem, porównanie z zadanym ciśnieniem w odpowiednim profilu sterowania i regulacji. 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 zamykający zawór główny. Sterownik hydrauliczny zamyka i otwiera w takim przypadku zawór aż do momentu osiągnięcia ustawionego mechanicznie minimalnego lub maksymalnego ciśnienia. Bardzo ważnym momentem w eksploatacji zaworów redukcyjnych jest rozruch początkowy. Każdy sterownik powinien być regulowany indywidualnie ze względu na inne warunki pracy. Regulacja ciśnienia może być realizowana na kilka sposobów.

W pierwszym najprostszym rozwiązaniu ciśnienie redukowane jest w miejscu zasilania strefy przez zawór ZRC. Zawór ma za zadanie utrzymać zadane ciśnienie w neutralnym punkcie strefy. Rozwiązaniem praktycznym jest zastosowanie zaworu ZRC dodając urządzenie sterujące, które umożliwia zmianę ciśnienia na wypływie w zależności od zmiany czasu (rys.7) lub przepływu (rys.8). Z doświadczeń wynika, że sterownik dwuzakresowy (możliwość nastawy dwóch wartości ciśnienia) jest w miarę tani i prosty w eksploatacji (rys.7). Bardziej skomplikowane urządzenia pozwalają obniżyć w większym stopniu poziom straty wody, jednak są znacznie droższe, jak i również eksploatacja takiego urządzenia jest trudniejsza i bardziej kosztowna, okres zwrotu poniesionych kosztów jest znacznie dłuższy.

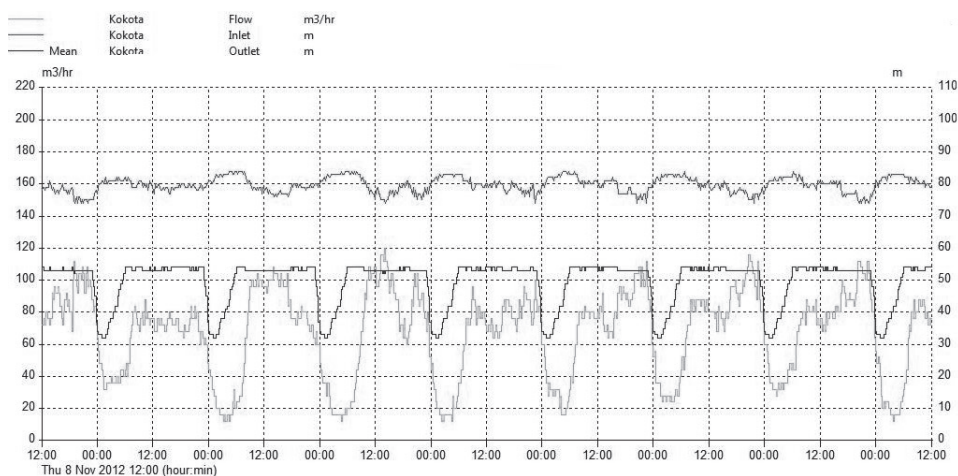


Rys. 7. Przykład monitoringu regulacji ciśnienia względem czasu – godziny nocne

Fig. 7. Example of pressure control monitoring versus time - night hours.

Inne rozwiązanie to zastosowanie nowoczesnego sterownika do zaworu ZRC, który pozwala na sterowanie ciśnieniem w zależności od przepływu lub czasu, reaguje na wielkość przepływu (rys.8). Praca takiego urządzenia jest możliwa w trzech opcjach:

- **czasowa w cyklu dobowym**, gdy nie ma możliwości zasilania elektrycznego, ustalenie pracy na podstawie danych zarejestrowanych przed montażem zaworu w danym punkcie.
- **sygnał impulsowy z przepływomierzem**, nie wymaga zasilania elektrycznego, gdy zawór ZRC sprzężony jest z strefowym przepływomierzem i przetwornikiem ciśnienia. Do zaprogramowania potrzebne są rzeczywiste wartości ciśnienia i przepływu w miejscu montażu oraz w punkcie krytycznym sieci. Informacje te potrzebne są do określenia wartości granicznej progu minimalnego przepływu, którą wprowadza się do sterownika, wartości maksymalne oraz minimalnego ciśnienia, ustawia się za pomocą śruby regulacyjnej. Bieżące wartości przepływu z wodomierza impulsowego lub przepływomierza porównywane są z progami wartości granicznej, gdy wartość ta jest większa sterownik kieruje przepływ w instalacji do zaworu sterującego, który ustala maksymalną wartość ciśnienia na wypływie. Gdy rzeczywisty przepływ jest mniejszy od zaprogramowanego sterownik kieruje przepływ do zaworu sterującego, który ustala minimalną wartość ciśnienia na wypływie z zaworu ZRC.



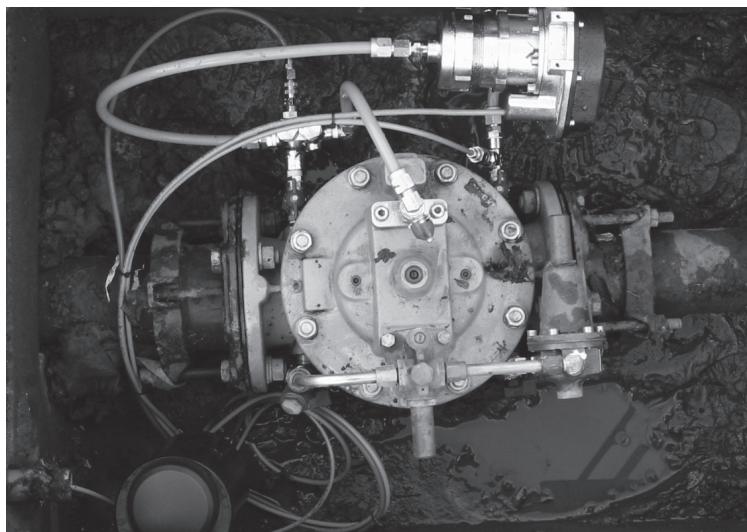
Rys. 8. Przykład monitoringu z regulacją ciśnienia względem przepływu przy stabilnym ciśnieniu na dopływie.

Fig. 8. Example of pressure control monitoring versus flow with stable inlet pressure.

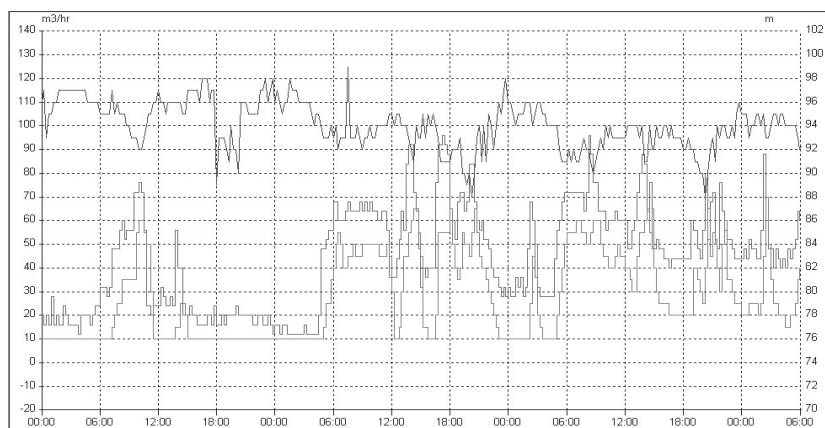
Zarządzanie ciśnieniem polega nie tylko na redukcji ciśnienia, ale także na utrzymaniu go w określonej wartości, kontroli przepływu tak, aby wodę dostarczyć w wymaganej objętości do większości klientów.

Z poprzednich rozważań można wywnioskować, że zarządzanie ciśnieniem jest odpowiednią na wszystkie problemy. Niestety słabo lub źle zaprojektowany system może stwarzać inne problemy. Najważniejszymi problemami, z którym należy się uporać projektując system to między innymi zapewnienie dostatecznego ciśnienia dla celów pożarowych. W miejscach gdzie utrzymanie przepływu pożarowego jest problemem, różne strefy mogą mieć różne potrzeby, kontrolowane przez zawory (ZRC) z regulacją przepływu. W związku z tym, jeśli wystąpi pożar system posiada wystarczającą zdolność, aby podtrzymać ciśnienie i przepływ potrzebne na walkę z żywiołem.

Zawory automatycznie wyregulują ciśnienie do określonego w ustawieniach plus minimum operacyjne dla pozostałych warunków.



Fot. 1. Przykład zabudowy reduktora ciśnienia z zespołami sterowania i monitorowania.
Pic. 1. Exemplary pressure reducer built in together with control and monitoring equipment.



Rys. 9. Przykład monitoringu z regulacją ciśnienia względem przepływu przy niestabilnym ciśnieniu na dopływie do reduktora.

Fig. 9. Example of pressure control monitoring versus flow with unstable inlet pressure.

4. Strefowanie

Strefy to sektory w sieci dystrybucji najczęściej podzielonej na obszary związane np. z zasilaniem z pompowni IIO lub komory zakupowo redukcijnej, które w prosty sposób mogą być monitorowane. Najtrudniejszą częścią kontroli ciśnienia wyłącznie za pomocą stref jest wyznaczenie granicy kontroli zaworów. Obecnie systemy telemetryczne pozwalają na zbieranie informacji w jednym miejscu z pracy zaworów, kontroli integralności sektorów oraz upewnianiu się, że powróciły one do poprzednich ustawień.

W wielu systemach dystrybucji wody okazało się, że montaż zaworów ZRC jest kosztowny, ale przynosi wymierne ekonomiczne korzyści.

5. Przykład efektów wdrożenia regulacji ciśnienia

Władze analizowanego PWiK zdecydowały się wprowadzenie systemu zarządzania ciśnieniem w 2008 roku. Instalując pierwsze zdalnie sterowanie reduktorów. Zastosowany system pozwala na sterownie pracą reduktorów z poziomu dyspozytorni poprzez przeglądarkę internetową, jak również dla osób posiadających odpowiednie uprawnienie z dowolnego miejsca podłączonego do sieci internetowej. Podgląd danych realizowany jest w systemie SCADA (rys 10).

Decyzja o instalacji sterowania reduktorami zapadła w oparciu o próbę optymalizacji ciśnienia w sieci względem:

- pory dnia oraz charakterystyki rozbiorów,
- awaryjnych potrzeb na cele pożarowe,
- potrzeb zmniejszania ciśnienia dla optymalizacji strat wody.

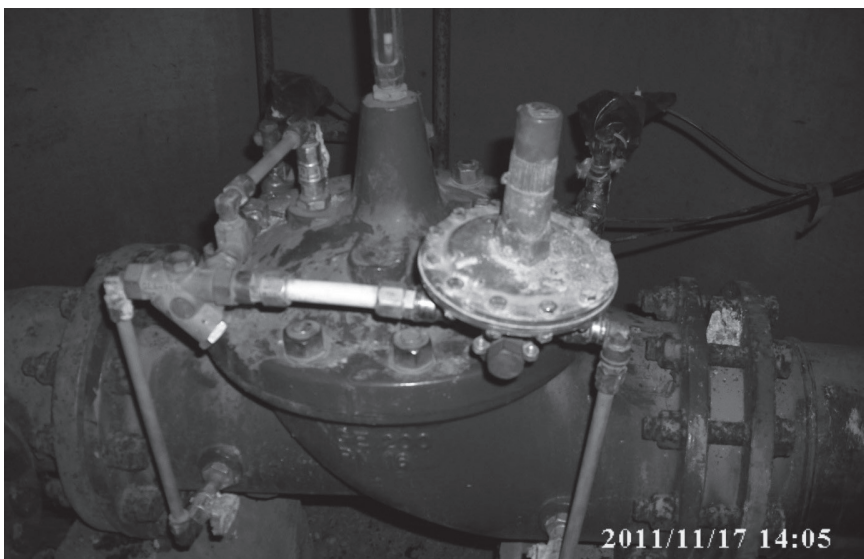
W każdym z poszczególnych punktów zakupu wody zarejestrowanych w systemie można odczytać parametry pracy. Punktów tych jest 60.

Komora reduktora Lokalizacja	Raporty	Godzina odczytu	Alarm	Ciśnienie przed reduktorem	Ciśnienie zadane	Ciśnienie za reduktorem	Współczynnik sterowania	Stan akumulatora	Sterowanie
KAT-2 ul. Papiewicka	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,78 MPa HE: 0,85 LO: 0,71	0,62 MPa HE: 0,62 LO: 0,30	0,62 MPa HE: 0,64 LO: 0,30	0,00	25,4 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-74 ul. Fianoska-Policka	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,63 MPa HE: 0,70 LO: 0,57	0,35 MPa HE: 0,35 LO: 0,30	0,31 MPa HE: 0,38 LO: 0,30	0,00	23,7 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-74H ul. Wita Stwosza- Pobórki	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,53 MPa HE: 0,59 LO: 0,49	0,35 MPa HE: 0,35 LO: 0,30	0,36 MPa HE: 0,40 LO: 0,30	1,89	23,8 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-4 ul. Wileńska	Raporty	2014-11-20 10:14	■	0,67 MPa HE: 0,80 LO: 0,62	0,47 MPa HE: 0,47 LO: 0,30	0,44 MPa HE: 0,45 LO: 0,30	0,03	25,1 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-31 ul. Chorzowska-Gigant	Raporty	2014-11-20 10:17	■	0,74 MPa HE: 0,82 LO: 0,70	0,47 MPa HE: 0,47 LO: 0,30	0,39 MPa HE: 0,47 LO: 0,30	0,03	23,8 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-69 ul. Murkowska	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,72 MPa HE: 0,83 LO: 0,66	0,35 MPa HE: 0,35 LO: 0,30	0,35 MPa HE: 0,42 LO: 0,30	0,70	23,3 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-5 ul. Piszczyska	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,74 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,64 MPa HE: 0,64 LO: 0,30	0,63 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,32	24,4 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-97 ul. Cmentarna	Raporty	2014-11-20 10:05	■	0,86 MPa HE: 0,90 LO: 0,30	0,50 MPa HE: 0,50 LO: 0,30	0,43 MPa HE: 0,50 LO: 0,30	0,02	11,6 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-59 ul. Szopienicka	Raporty	2014-11-20 10:02	■	0,59 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,45 MPa HE: 0,45 LO: 0,30	0,45 MPa HE: 0,40 LO: 0,30	0,15	11,7 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-27 ul. Chorzowska-Kodół	Raporty	2014-11-20 10:29	■	0,85 MPa HE: 0,92 LO: 0,30	0,52 MPa HE: 0,52 LO: 0,30	0,49 MPa HE: 0,70 LO: 0,30	0,00	24,4 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-41 ul. Barański	Raporty	2014-11-20 10:04	■	0,46 MPa HE: 0,50 LO: 0,30	0,38 MPa HE: 0,38 LO: 0,30	0,37 MPa HE: 0,40 LO: 0,30	0,02	14,0 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-7-8 ul. Graniczna- Hobrońska	Raporty	2014-11-20 10:03	■	0,76 MPa HE: 0,90 LO: 0,30	0,05 MPa HE: 0,05 LO: 0,30	0,09 MPa HE: 0,72 LO: 0,30	0,02	11,9 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-7-8H ul. Graniczna- Piłsudskiego	Raporty	2014-11-20 10:20	■	0,85 MPa HE: 0,90 LO: 0,30	0,47 MPa HE: 0,47 LO: 0,30	0,47 MPa HE: 0,70 LO: 0,30	0,00	24,6 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-31B ul. Grota Rowczyńskiego	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,70 MPa HE: 0,85 LO: 0,30	0,52 MPa HE: 0,52 LO: 0,30	0,50 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,62	25,5 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-119 ul. Spółek	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,70 MPa HE: 0,81 LO: 0,30	0,40 MPa HE: 0,40 LO: 0,30	0,41 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,00	25,5 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-76H ul. Sokoliska - Kosmos	Raporty	2014-11-20 10:22	■	0,74 MPa HE: 0,85 LO: 0,30	0,55 MPa HE: 0,55 LO: 0,30	0,55 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,26	23,1 V	Wyłącz Wyłącz
KAT-33CH ul. Roma	Raporty	2014-11-20 09:59	■	0,59 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,45 MPa HE: 0,45 LO: 0,30	0,43 MPa HE: 0,80 LO: 0,30	0,05	24,9 V	Wyłącz Wyłącz

Rys. 10. Przykładowy zrzut ekranu panelu SCADA

Fig. 10. SCADA control panel screen shot example

Anlizowana sieć wodociągowa została podzielona na obszary zasilania, gdzie każdy z obszarów zasilany jest z jednego lub dwóch punktów zakupu. Aktualnie w przedsiębiorstwie steruje się zdalnie 20 reduktorami. W skład punktów sterownia wchodzi: reduktor, pilot przystosowany do sterowania, sterownik typu CellBox-R, akumulator 12V, zestaw antenowy (fot.2).



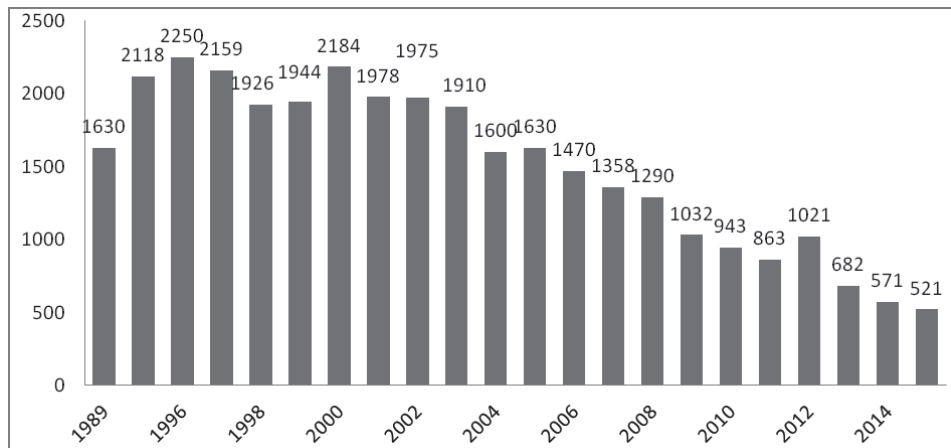
Fot. 2. Reduktor z zestawem sterującym.

Pic. 2. Reducer built in together with control equipment

Każda studnia pomiarowa wyposażona jest w 2 czujniki zasilania. Pierwszy na wysokości reduktora, a drugi na wysokości ok. 15 cm poniżej poziomu akumulatora oraz sterowników. Zestawy te fabrycznie przystosowane są do zasilania natomiast w praktyce często błąd ludzki decyduje o braku szczelności urządzenia i jego awarii. Unika się sytuacji w której zostają zasilane sterowniki i akumulator.

5.1 Awarie w analizowanej sieci

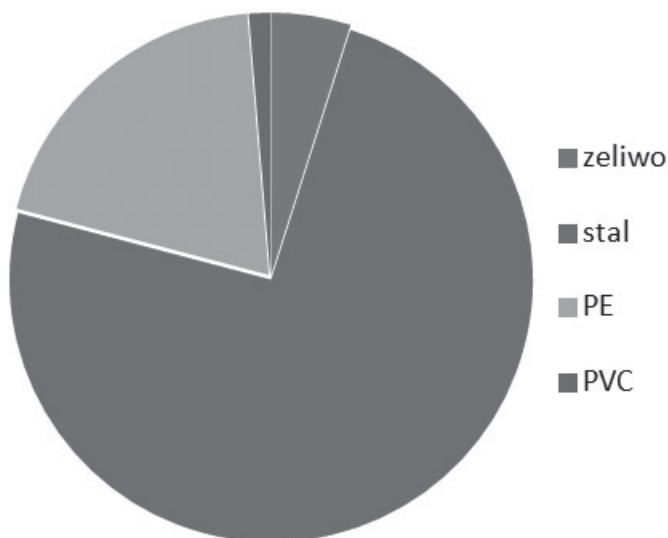
Trzy oddziały sieci wodociągowej zajmują się wyszukiwaniem i usuwaniem awarii. O awariach świadczą spadki ciśnienia w monitoringu oraz u odbiorców, a także zwiększone pobory lub zgłoszenia braków dopływu wody. W takich sytuacjach rozpoczyna się procedura poszukiwania wycieków, poprzez sprawdzenie przebiegu i stanu sieci wodociągowej metodami akustycznymi. Rys.11 przedstawia zestawienie liczby wykrytych i usuniętych awarii w lat 2007 do 2014.



Rys. 11. Zestawienie liczby awarii od roku 2007 do 2014

Fig. 11. SCADA control panel screen shot example

Na rys. 12 pokazano podział awarii ze względu na rodzaj materiału. Jak widać największe problemy w eksploatacji spawają sieć wykonane ze stali.



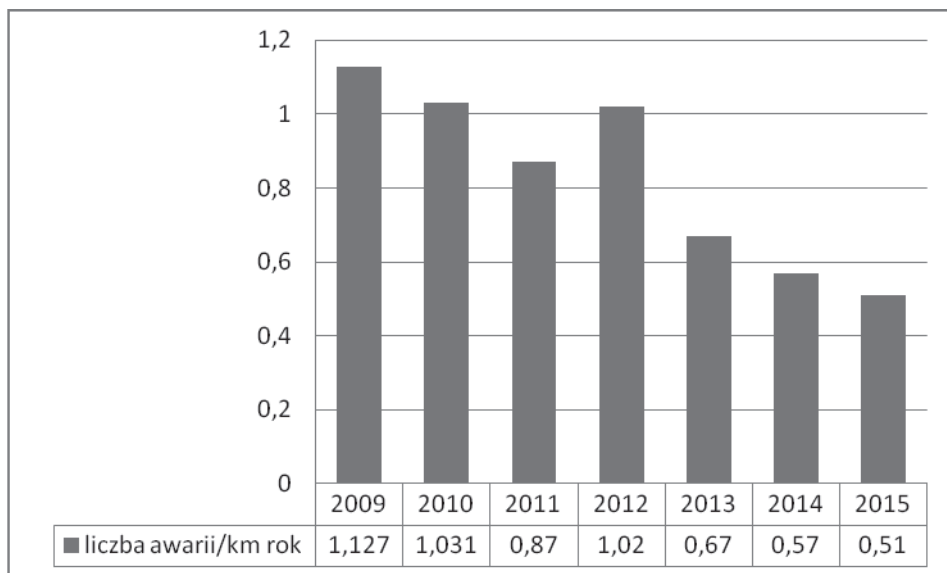
Rys. 12. Zestawienie liczba awarii w roku 2013 z podziałem na rodzaj materiału

Fig. 12. Failure amount summary in 2013 with material type division

Jak można zauważyć liczba awarii ma tendencję zdecydowanie spadkową. Wpływ na tak stan rzeczy mają:

- wymiana materiału sieci i związany z tym z zmiana wieku sieci;
- monitoring pracy sieci w wydzielonych strefach z regulacją ciśnienia.

Można zauważyć spadek liczby awarii po roku 2008, w którym to zdecydowano się na wprowadzenie zdalnej regulacji ciśnienia. Mniej awarii to mniejsze straty wody, a ten czynnik jest dla przedsiębiorstwa priorytetem. Znacząco w tym okresie obniżył się wskaźnik intensywności uszkodzeń z $\lambda=1.13$ w 2009 do $\lambda=0.51$ w 2015 (rys13).

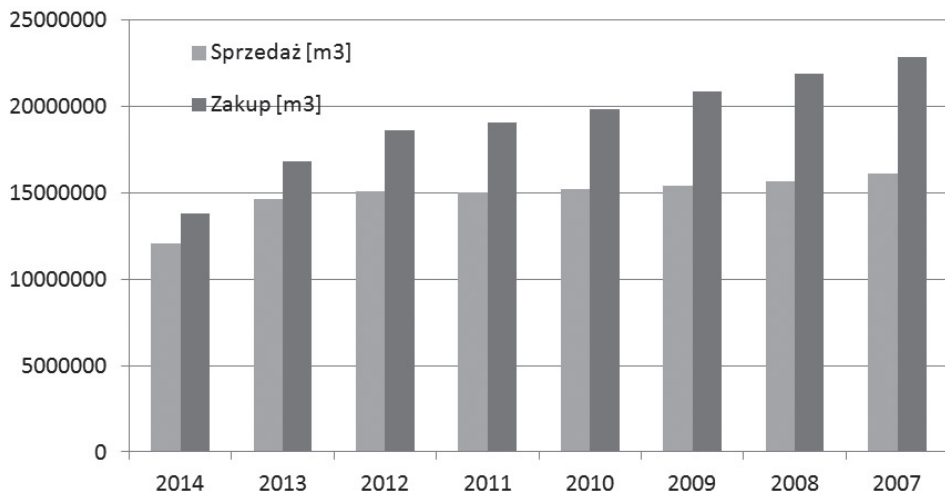


Rys. 13. Wskaźnik awaryjności (liczba awarii /długość sieci km) w lata 2009-2014.

Fig. 13. Failure amount summary in 2013 with material type division

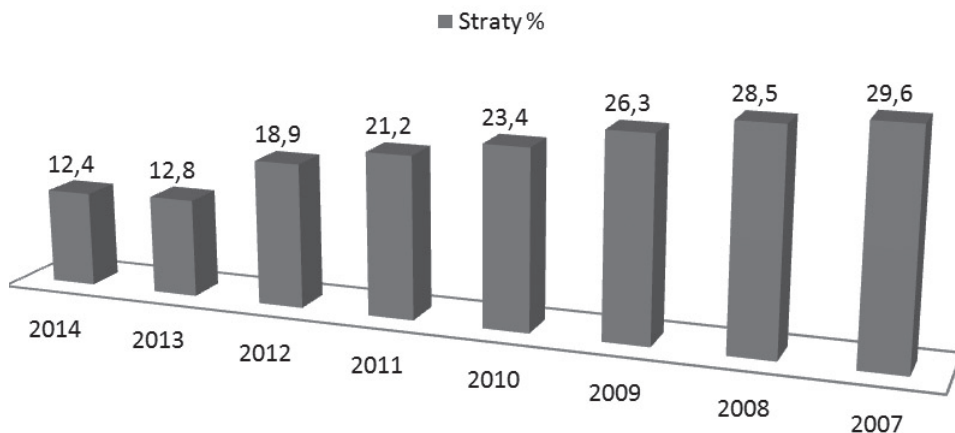
5.2 Zakup – sprzedaż i starty wody

Straty wody to różnica pomiędzy zakupem a sprzedażą wody przez przedsiębiorstwo. W analizowanym PWiK obliczane są osobno dla stref. Suma zakupów oraz sprzedaży została przedstawiona na wykresie rys.14.



Rys. 14. Różnica pomiędzy zakupem a sprzedażą wody w latach 2007-2014.
Fig. 14. Water buy-sell difference in 2007-2014.

Różnica ta zdecydowanie się zmniejszyła, a co za tym idzie wielkości strat również. Wraz ze zmianami wprowadzanymi w sieci oraz systemami kontroli i regulacji przepływów oraz ciśnień, założenia ekonomiczne wprowadzanych modyfikacji są spełniane. Straty maleją z roku na rok co widać na rys. 15.

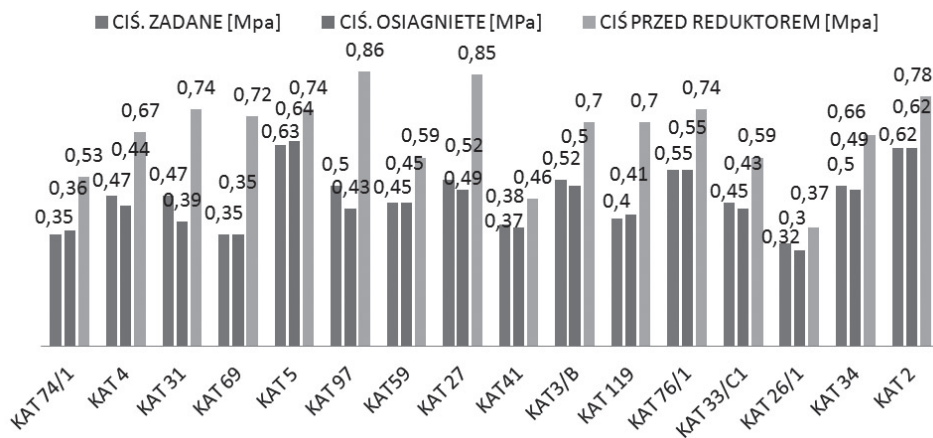


Rys. 15. Straty w latach 2007-2014.
Fig. 15. Loses in 2007-2014.

5.3 Redukcja ciśnienia w analizowanych wodociągach

Punkty monitoringu oraz regulacji ciśnienia są umieszczone w systemie sterowania SCADA. W nim można odczytać na bieżąco panujące ciśnienie oraz jego dobowy przebieg. To tu ustala się wartości graniczne przy, których następuje włączenie alarmu. Wszystko odbywa się zdalnie.

Wartości ciśnień różnią się w godzinach dziennych i nocnych i jest to związane z rozbiorami wody w poszczególnych strefach. W graficzny sposób przedstawiono na rys.16 zależności między wartościami ciśnień przed i po redukcji oraz zadanymi w ciągu dnia w 16 analizowanych reduktorach.

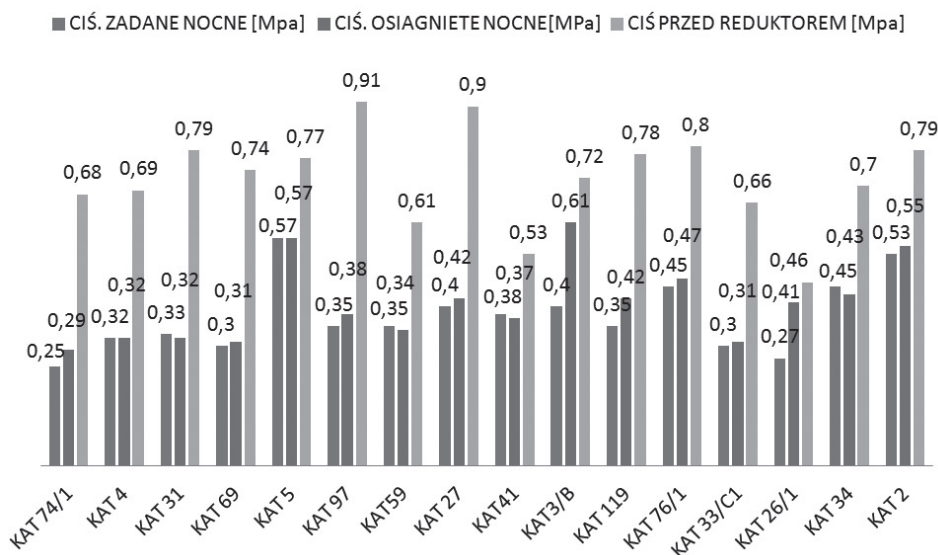


Rys. 16. Wykres wartości ciśnień przed i za reduktorami oraz zadane w godzinach dziennych.

Fig. 16. Pressure value before and after reducers and given during day hours.

Z analizy danych wynika, że ciśnienie jest skutecznie redukowane do zadanych wartości. Maksymalne ciśnienie w ciągu dnia na dopływie to $p=0,86$ bar po redukcji $p=0,43$ bar. Najniższe ciśnienie na dopływie to $p=0,37$ bar po redukcji $p=0,3$ bar. Wartość redukcji ciśnienia $\Delta p=0,43-0,07$ bar średni to $\Delta p=0,21$ bar.

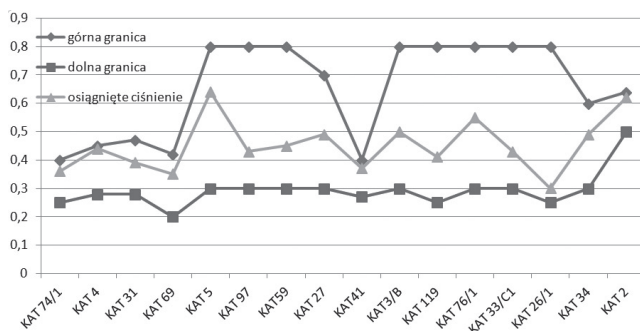
Bardzo duży wpływ na zmniejszenie strat wody w tym systemie miały obniżki ciśnienia w okresach najniższych poborów czyli w godzinach nocnych 0.00 - 4.00. W graficzny sposób przedstawiono na rys.17 zależności między wartościami ciśnień przed i po redukcji oraz zadanymi w godzinach nocnych. Z analizy danych wynika, że ciśnienie jest skutecznie redukowane do zadanych wartości.



Rys. 17. Wykres wartości ciśnień przed i za reduktorami oraz zadane w godzinach nocnych.
Fig. 17. Pressure value before and after reducers and given during night hours.

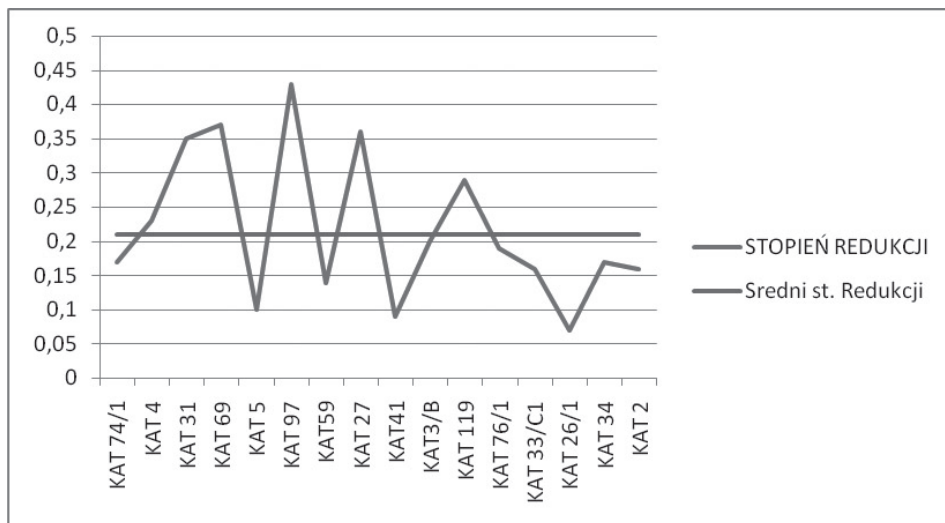
Maksymalne ciśnienie w godzinach nocnych na dopływie to $p=0,91$ bar po redukcji $p=0,38$ bar. Najniższe ciśnienie na dopływie to $p=0,46$ bar po redukcji $p=0,41$ bar. Wartość redukcji ciśnienia $\Delta p=0,52-0,05$ bar średni to $\Delta p=0,31$ bar. W tym czasie nawet jeśli w sieci znajdują się niezlokalizowane wycieki – to objętość straconej wody będzie minimalna.

Ciśnienie monitorowane i regulowane jest całą dobę a jego wartości muszą się zmieścić między wartościami granicznymi tzw. alarmowymi. To znaczy, że nie mogą one się obniżyć poniżej oraz wzrosnąć powyżej ustalonych wartości. Na rys. 18 przedstawiono przykładowo zakres zmian ciśnienia w ciągu doby w reduktorach w analizowanym PWiK. Maksymalne ciśnienia w zakresie $p=0,4-0,8$ bar a minimalne w zakresie $p=0,2-0,5$ bar



Rys. 18. Wykres wartości ciśnień przed i za reduktorami oraz zadane w godzinach nocnych.
Fig. 18. Pressure value before and after reducers and given during night hours.

Bardzo duży wpływ na zmniejszenie strat wody w tym systemie miały obniżki ciśnienia w okresach najmniejszych poborów. Czas ten to godziny nocne 0.00 - 4.00. W tym czasie nawet jeśli w sieci znajdują się niezlokalizowane wycieki – to objętość straconej wody będzie minimalna.



Rys. 19. Uzyskiwane efekty stopnia redukcji ciśnienia i wartość średnia w wybranych komorach
Fig. 19. Achieved pressure reduction factor and mean value in selected chambers

Rozpatrując wpływ ciśnienia na straty wody trzeba wziąć pod uwagę problem inkrustacji, osadów korozyjnych oraz innych odkładających się w przewodach. W czasie eksploatacji przekrój przewodu zwęża się, wzrasta oporność przepływu oraz ciśnienie, co powoduje podniesienie poziomu strat. Po zwiększeniu ciśnienia w sieci może nastąpić zerwanie inkrustacji, oraz wleczenie osadów. Oderwane elementy mogą odsłonić pęknięcia oraz wżery korozyjne, które dodatkowo zwiększają poziom strat i liczbę awarii. Często na końcówkach sieci w takiej sytuacji pojawia się wtórne zanieczyszczenie, zwiększona mętność spowodowana zerwaniem osadów z inkrustacji, odbiorcy najczęściej zgłaszają dany problem przedsiębiorstwu, które w takiej sytuacji zmuszone jest przepłukać sieć, a co za tym idzie zwiększyć poziom niezafakturowanej wody, czyli poziom strat własnych.

Zmiany ciśnienia w sieci powodowane są nie tylko zmiennymi rozbiorami wody w ciągu doby, ale również uderzeniami hydraulicznymi powodowanymi przez zamykanie i otwieranie zasuw, włączaniem pomp, uruchamianiem odcinków po awariach itp. Zjawisko to jest zawsze bardzo niebezpieczne w eksploatacji sieci wodociągowej.

6. Podsumowanie

Zarządzanie ciśnieniem jest narzędziem, które może znacząco ograniczyć straty wody i tym samym ekonomiczne w przedsiębiorstwach eksploatujących systemy dystrybucji wody. Regulując ciśnienie operacyjne zyskamy przede wszystkim na zmniejszeniu liczby awarii oraz strat wody zwłaszcza w godzinach nocnych. Projektując i wdrażając system regulacji ciśnienia należy zapewnić założenia i zabezpieczyć skrajne potrzeby odbiorów i cele ochrony p.poz.

W 2008 roku w analizowanym systemie dystrybucji rozpoczęto stosować obok monitoringu zdalną regulację ciśnienia w wydzielonych strefach. W latach 2007-14 wyraźnie widać tendencje spadkowe strat wody oraz liczby awarii. Aby utrzymać tendencje spadkową zaleca się dalsze zwiększanie liczby monitorowanych i regulowanych zdalnie reduktorów.

Oczywiście ciągle modernizacje i renowacje przewodów i armatury też nie są w tym wypadku bez znaczenia. Niestety nie da się wszystkich pracy wykonać jednocześnie, zatem wiek materiałów sieci wodociągowej będzie miał swoje odzwierciedlenie w sytuacji ekonomicznej przedsiębiorstwa.

Jednak należy pamiętać, że system zarządzania ciśnieniem jest jedną ze składowych optymalizacji pracy systemu dystrybucji wody.

Ograniczenie ciśnienia pozwala znacznie zmniejszyć wydatek wody z nieszczelności, czyli straty wody do gruntu, pozwala chronić przewody. Dużym problemem są uszkodzenia wydatkujące z intensywnością poniżej $0,5\text{m}^3/\text{h km}$ praktycznie są nie do wykrycia. Istotny wpływ ma właśnie regulacja ciśnienia na obniżenie wydatku z takich nieszczelności i uszkodzeń

Bibliografia

- 1) Lambert A. McKenzie R. Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index. Paper to IWA Conference Leakage Management A Practical Approach Cyprus November 2002.
- 2) Niebel D. I inn. VAG. Guidelines for water loss reduction. A fokus on pressure management. Eschborn. 2011
- 3) Piechurski F.G. Przyczyny i skutki awarii uszkodzeń w sieci wodociągowej. Instal 4 nr (317)/2011 s. 42-47. ISSN 1640-9160 – 1
- 4) Speruda S. Optymalny poziom strat wody z wycieków w sieci wodociągowej. Akademia strat wody WaterKEY Warszawa 2011.
- 5) Zhen Yi Wu I inn - Water loss reduction. Bentley Institute Press. Pennsylvania 2011

