

Ewelina KILIAN  
Bytomskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o.

## EKSPLOATACJA REDUKTORÓW CIŚNIENIA - NA PODSTAWIE DOŚWIADCZEŃ BPK SP. Z O.O.

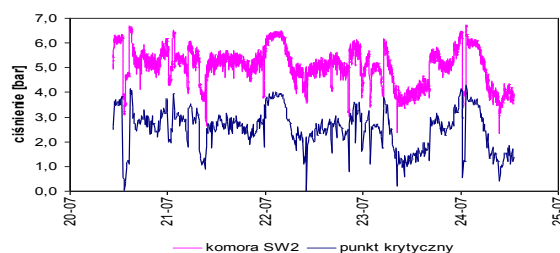
W pracy przedstawiono zagadnienia związane z codzienną eksploatacją reduktorów ciśnienia do których należy m. in. zaliczyć: pracę zaworów w krytycznych punktach ich charakterystyki, próby dopasowania współpracy reduktorów równolegle zasilających jedną wydzieloną strefę sieci wodociągowej oraz konserwację reduktorów. Ponad to omówiono poszczególne rodzaje regulacji wartości ciśnienia za pomocą sterowników zewnętrznych ze wskazaniem zasadności użycia każdej z nich.

### 1. Wprowadzenie

Miasto Bytom nie posiada własnych ujęć wody pitnej dla celów zaopatrzenia w wodę socjalną i bytową. Z tego też powodu całość wody zakupowana jest od Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A. Na terenie miasta zlokalizowane są 53 studnie zakupowe zasilające 496,71 km sieci wodociągowej, będącej własnością Bytomskiego Przedsiębiorstwa Komunalnego Sp. z o.o. (BPK). Konieczność zakupu całości wody przekłada się na cenę 1 m<sup>3</sup> i powoduje skierowanie celu Spółki na racjonalne wykorzystywanie każdej zakupionej kropli. Takie podejście wymaga wdrażania działań skierowanych na walkę ze stratami wody oraz optymalizację pracy sieci. Podjęta praca jest o tyle trudna że dotyczy rejonów związanych z aktywną eksploatacją górnictw, przejawiającą się m. in. zwiększoną liczbą naprężeń ścinających w gruncie, osiadaniem terenu, tąpniętami czyli dewastacją terenu zabudowanego i infrastruktury podziemnej. Pomimo tak wielu utrudnień, średni poziom strat wody w Bytomiu za rok 2011 wyniósł 18,0% (różnica między zakupem i sprzedażą wody bez odliczenia wody na cele technologiczne).

W latach 1996 – 2001, zgodnie z zamysłem ówczesnego Zarządu, w głównych studniach zakupowych miasta rozpoczął się montaż zdalnie sterowanych przepustnic służących do regulacji ciśnienia w sieci. Sterowanie przepustnicami odbywało się poprzez zdalne ustawianie odpowiedniego stopnia otwarcia przepustnicy w zależności od wartości ciśnienia na wyjściu ze studni. Parametry pracy poszczególnych przepustnic zadawane były ze stanowiska dyspozytorskiego wyposażonego w system wizualizacji i sterowania SCADA.

Tego rodzaju regulacja cechowała się bardzo dużą bezwładnością układu (dyspozytor – przepustnica), powodującą znaczne wahania ciśnienia na sieci (do 1,5 bar), obniżając jej trwałość i w bezpośredni sposób wpływając na ilość, częstość występowania i wydajność awarii (Rys. 1).



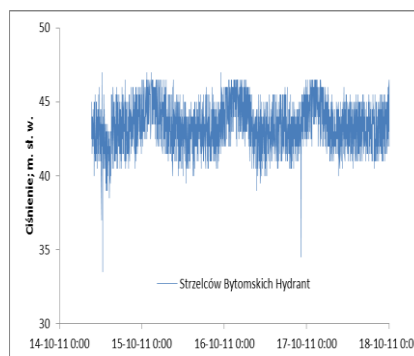
Rys. 1. Profile zmian ciśnienia przy regulacji zdalnie sterowaną przepustnicą

Chęć uporania się z błędnymi założeniami istniejącego systemu regulacji ciśnienia oraz konieczność ograniczania strat wody, wynikająca z założeń projektu „Poprawa gospodarki wodno-ściekowej na terenie gminy Bytom” skłoniła BPK do poszukiwania innego rozwiązania. Takim rozwiązaniem okazały się zawory redukcji ciśnienia sterowane hydraulicznie.

Przeprowadzona inwentaryzacja studni zakupowych wykazała że w czterech studniach, zmontowane były już sprężynowe, ciepłownicze zawory redukcyjne (Rys. 2). Wspomniane zawory, w pewnym stopniu zapewniały obniżenie wartości ciśnienia sieci, jednakże szybkozmienna charakterystyka rozbiorów, uniemożliwiała utrzymanie za zaworem stałej wartości ciśnienia nastawianej mechanicznie jako stopień napięcia sprężyny (Rys. 3).



Rys. 2. Reduktory ciepłownicze pracujące na bytomskiej sieci



Rys. 3. Praca reduktora ciepłowniczego

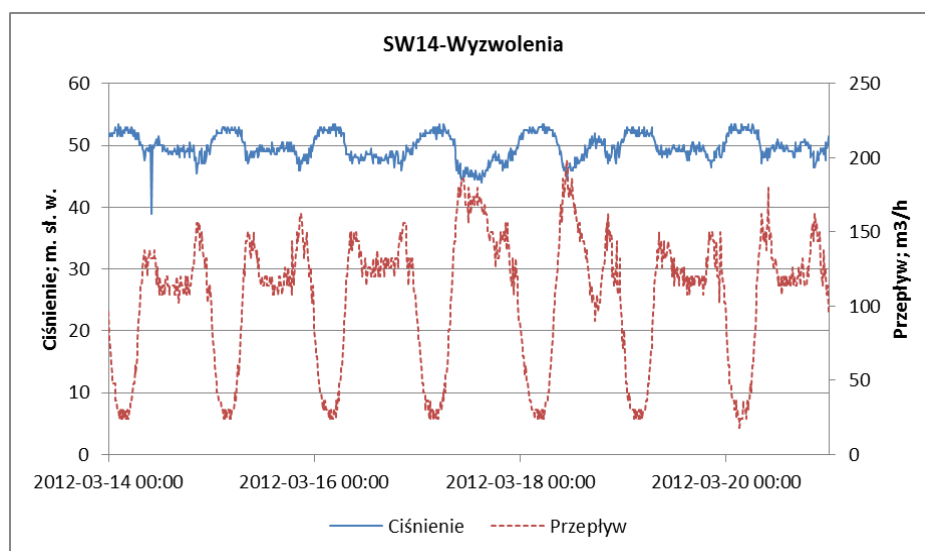
Od 2009 roku BPK rozpoczęło modernizację studni (z montażem reduktorów ciśnienia) stosując jako kryterium modernizacji wybór tych studni, których

przebudowa pozwoli wypracować największy zysk z tytułu ilości oszczędzonej wody. W chwili obecnej BPK zajmuje się eksploatacją 28 zaworów redukcyjnych. W celu zapewnienia kontroli pracy zamontowanych reduktorów, każdą studnię redukcyjną wyposażono w urządzenia do monitoringu, zbierające informacje o ciśnieniu na wejściu do reduktora, na wyjściu z reduktora oraz o wartości przepływu. Dane z urządzeń za pomocą sieci GSM spływają każdego dnia na serwery BPK, gdzie poddawane są codziennej analizie. Poniżej przedstawiono stadium przypadków pracy reduktorów ciśnienia zarejestrowanych przez system monitoringu BPK.

## 2. Praca reduktora ze zbyt małą redukcją ciśnienia

Większość producentów zaworów redukcyjnych podaje w kartach katalogowych urządzeń wartość minimalnej wymaganej redukcji ciśnienia, która przeważnie oscyluje w granicy ok. 0,5-1,0 bara. Na wielkość przywołanego parametru w dużej mierze wpływa rodzaj sprężyny użytej w zaworach pilotowych, a dokładniej zakres stopnia redukcji ciśnienia.

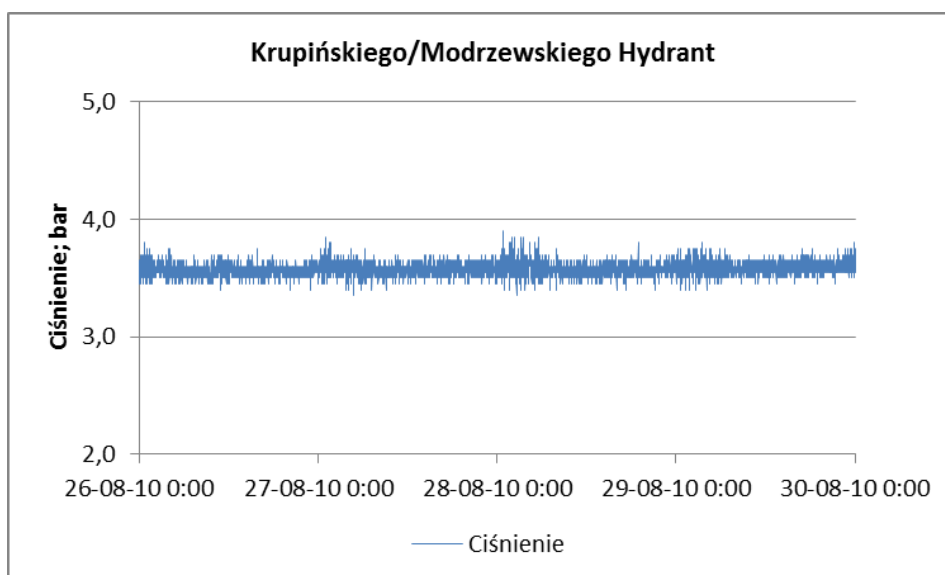
Na rys. 4 przedstawiono pracę reduktora z wartością redukcji ciśnienia ok 0,4 bara (wartość wymagana przez producenta min 1 bar). Tak mała redukcja ciśnienia przy przepływach rzędu ok 200 m<sup>3</sup>/h przy reduktorze DN150 związana jest z pracą reduktora z niemal całkowitym otwarciem oraz z możliwością zaklinowania dysku. Niestabilny przebieg linii ciśnienia przejawiający się m.in. różnicą ciśnienia między dniem a nocą wysokości ok 0,7 bara oraz spadki ciśnienia powodowane zwiększonym rozbiorem wody, świadczą o niepoprawnej pracy zaworu i wręcz jego bezużyteczności do momentu zmiany nastaw wartości ciśnienia wyjściowego w badanym miejscu.



Rys. 4. Praca reduktora z minimalną redukcją ciśnienia

### 3. Praca reduktora przy minimalnym nocnym przepływie

Wraz z przebudową sieci wodociągowej jednej z dzielnic Bytomia, z powodu dużej różnicy wysokości między źródłem zasilania a najniższymi punktami, zdecydowano się na zabudowę studni redukcyjnej. Pomimo uzyskanych zadawalających parametrów pracy nowej sieci, urządzenia do monitoringu pracy reduktora zarejestrowały wahania ciśnienia w godzinach nocnych (Rys. 5). Powodem zaistniałej sytuacji była praca zaworu redukcyjnego przy minimalnej wartości przepływu wynoszącej w zasilanej strefie ok  $1\text{ m}^3/\text{h}$ . Zgodnie z danymi katalogowym, niestabilność pracy dotyczy wartości do 5% otwarcia reduktora i związana jest z tzw. skokiem zaworu, którego stosunkowo małe otwarcie powoduje stosunkowo duży wzrost przepływu w stosunku do zapotrzebowania. Ponadto należy uwzględnić pracę sprężyny zaworu pilotowego, która w badanym reduktorze z powodu swoich rozmiarów może nie posiadać możliwości płynnej regulacji przy tak niskiej wartości przepływu.



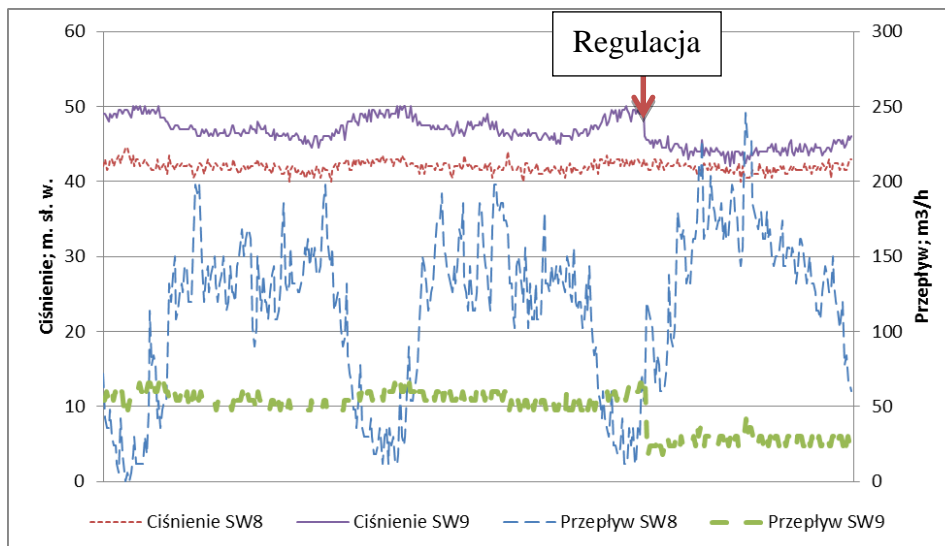
Rys. 5. Praca reduktora przy minimalnym nocnym przepływie

### 4. Współpraca reduktorów połączonych równolegle

- poprawna praca

Próby dopracowania współpracy reduktorów zasilających równolegle wydzielony rejon sieci, bardzo często odbywają się w sposób doświadczalny. Dużą rolę przy tego rodzaju regulacjach odgrywa średnica reduktorów, związana z nią wydajność, wysokościowe usytuowanie reduktorów względem siebie oraz sposób zasilania (z tych samych lub różnych magistral). Poniżej przedstawiono regulację reduktorów DN150 i DN200, zasilanych z tej samej magistrali

DN1000, przy różnicy wysokości między nimi ok 7m. Na rys. 6 przedstawiono moment regulacji, w którym zmniejszono nastawy mniejszego reduktora oraz wyregulowano zawory szybkości reakcji. Przeprowadzona regulacja pozwoliła osiągnąć stabilniejszy przebieg linii ciśnienia w zasilanej strefie oraz ciągłą pracę reduktorów w ciągu całej doby.



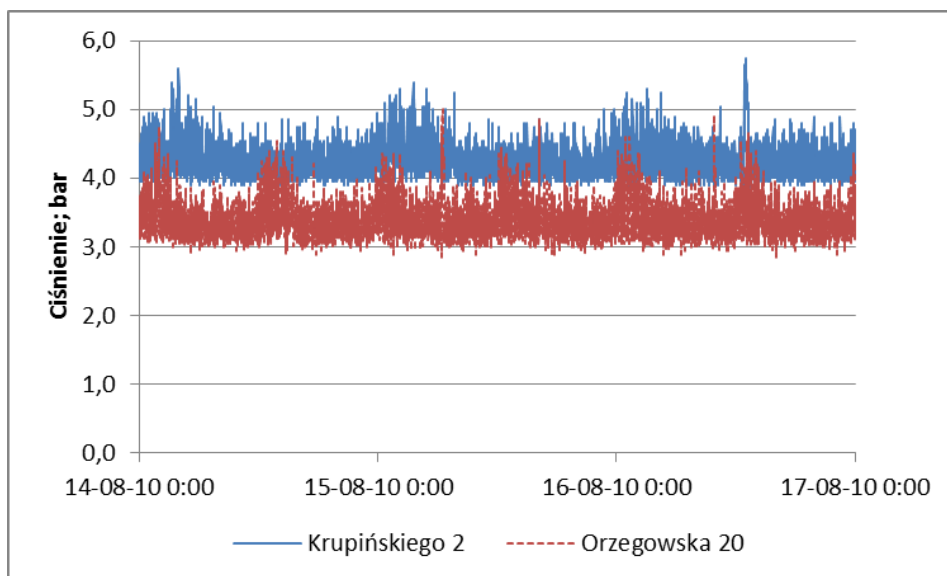
Rys. 6. Regulacja współpracy reduktorów pracujących równolegle (SW8 – reduktor DN200; SW9 – reduktor DN150)

- **niepoprawna praca**

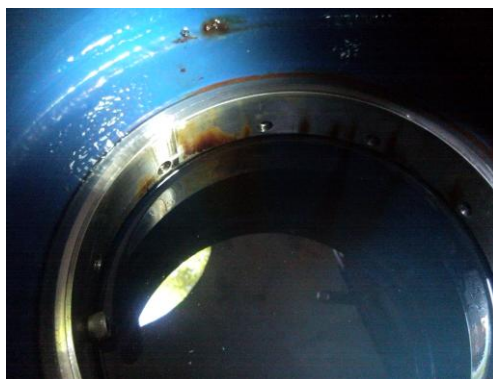
Przekazanie do eksploatacji sieci wodociągowej przebudowanej w ramach Funduszu Spójności (realizacja projektu „Poprawa gospodarki wodno-ściekowej na terenie gminy Bytom” w latach 2004-2011) wiązało się w pierwszej kolejności z przeprowadzeniem badań parametrów sieci oraz współpracy dwóch reduktorów połączonych równolegle. Uzyskane wyniki pomiarów (Rys. 7) stały się motorem do podjęcia natychmiastowych działań zmierzających do poprawy sprawności pracy sieci.

W pierwszej kolejności przystąpiono do czyszczenia reduktorów. Wewnątrz obydwóch napotkano rdzawe naloty na gnieździe zbudowanym ze stali nierdzewnej (Rys. 8). Nierówności powierzchni gniazda uniemożliwiały płynną pracę dysku zaworu, utrudniając jego ruch. Ponadto siatka filtra zamontowanego przed jednym z reduktorów wypełniona była opiłkami PE porośniętymi błoną biologiczną (Rys. 9).

Narośl ograniczała przekrój siatki filtracyjnej o około połowę, zaburzając i ograniczając przepływ przez filtr i reduktor. Współpraca dwóch reduktorów zasilających mały szczelny odcinek sieci, powodowała znaczne wahania ciśnienia szczególnie, w godzinach nocnych, będące dwa razy większe w porównaniu do wahań ciśnienia w ciągu dnia (Rys. 7).



Rys. 7. Niewłaściwa praca reduktorów pracujących równolegle



Rys.8. Zardzewiałe gniazdo reduktora



Rys. 9. Zanieczyszczenie filtra

## 5. Sterowanie pracą reduktora

Podczas rozważań na temat sterowników nastaw reduktorów, należy zwrócić uwagę na piloty zaworów redukcyjnych a dokładnie na ich sprężyny. Na rys. 10 przedstawiono sprężyny zastosowane w reduktorach tej samej średnicy lecz różnych producentów. Należy mieć na uwadze że na efektywność regulacji ciśnienia za pomocą sterownika, wpływa przekrój użytej sprężyny. Wiadomym jest że sprężyna o mniejszym przekroju, dużo łatwiej będzie poddawała się regulacji oraz regulacja ta będzie płynniejsza.



Rys. 10. Porównanie wielkości zaworów pilotowych oraz odpowiadających im sprężyn

## 6. Sterowniki zewnętrzne reduktorów ciśnienia

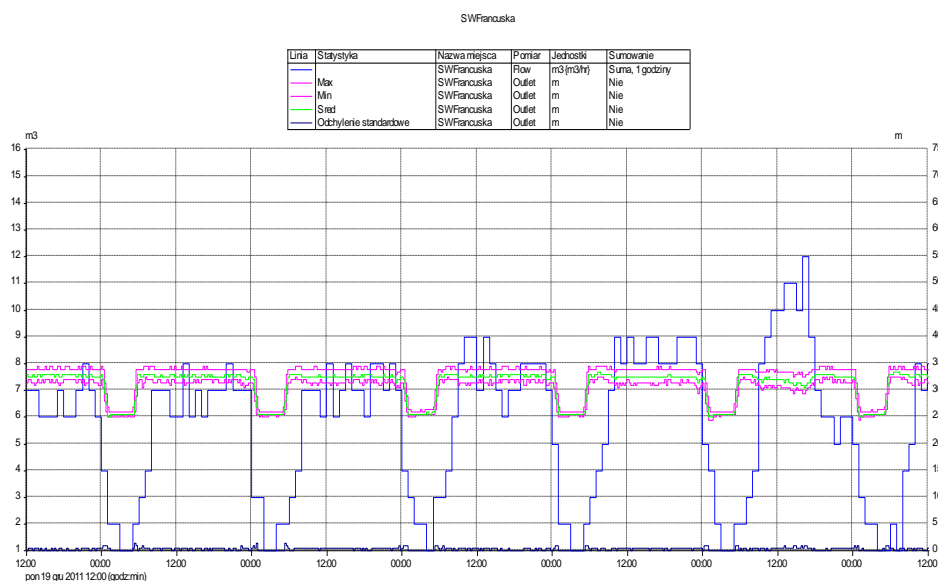
Doświadczenia BPK ze stosowania sterowników nastaw reduktorów, pokazały że sterowania zewnętrznego reduktorem nie można zastosować wszędzie. Ograniczenia te wynikają zarówno z technicznych właściwości urządzeń jak i z ograniczeń stawianych przez sam system dystrybucji wody. Zastosowanie sterowania zewnętrznego zdeterminowane jest specyfiką zasilanego rejonu tj. pojemnością buforową zasilanej strefy, wymaganą wartością ciśnienia dyspozycyjnego oraz obecnością zakładów przemysłowych jak i ważnych ze społecznego punktu widzenia obiektów np. szpitali. Poniżej omówione zostały poszczególne rodzaje regulacji.

- **Sterowanie czasem**

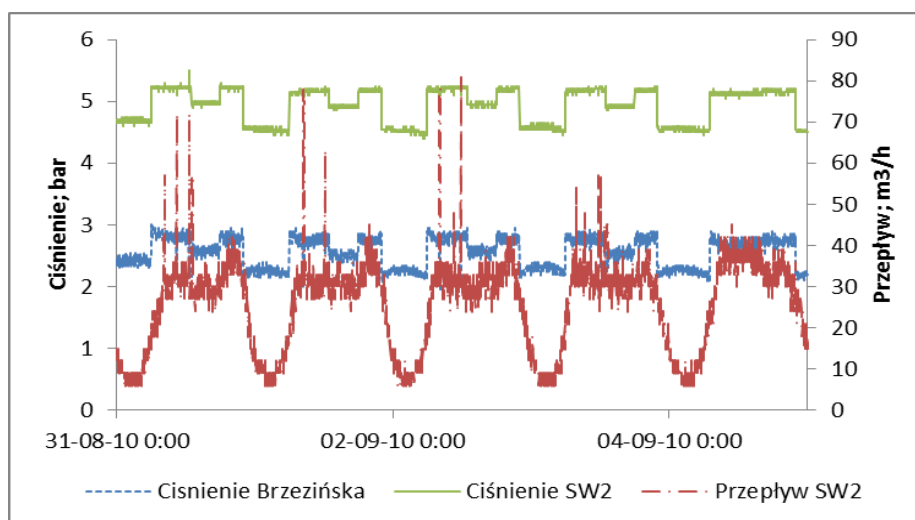
Do chwili obecnej w BPK udało się zbadać pracę dwóch rodzajów sterowników nastaw reduktorów: mechanicznego i pneumatycznego. Sterowniki posiadały możliwość zadawania odpowiednich nastaw ciśnienia wyjściowego w zdefiniowanych przedziałach czasowych. W zależności od zastosowanego rozwiązania zyskiwano dodatkową funkcjonalność w postaci alarmów wysyłanych za pomocą smsów, rejestracji danych oraz możliwością nastawiania kilku scenariuszy. Na rys. 11 i 12 przedstawiono pracę reduktorów sterowanych zgodnie z zadanymi nastawami czasowymi.

Początkowo dane generowane przez sterownik pneumatyczny wydawały się bardzo nieczytelne, ponieważ do zobrazowania pracy reduktora służyły 3 linie oznaczone jako ciśnienie min, max i śr. Z powodu występującej w niektórych przypadkach dużej różnicy w wysokości między liniami ciśnienia max i min, postanowiono zbadać który przebieg jest najbliższy rzeczywistej wartości ciśnienia. W tym celu zamontowano dodatkowy rejestrator, z wysoką częstotliwością rejestracji i zapisu.





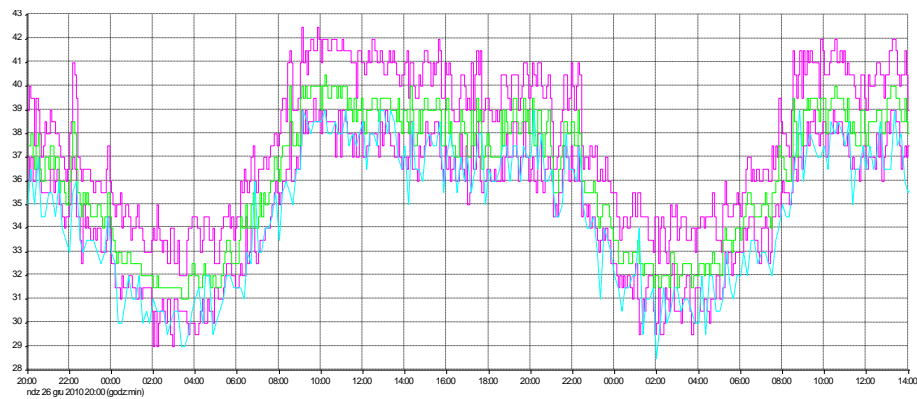
Rys.11. Sterowanie czasem sterownik pneumatyczny



Rys.12. Sterowanie czasem sterownik mechaniczny

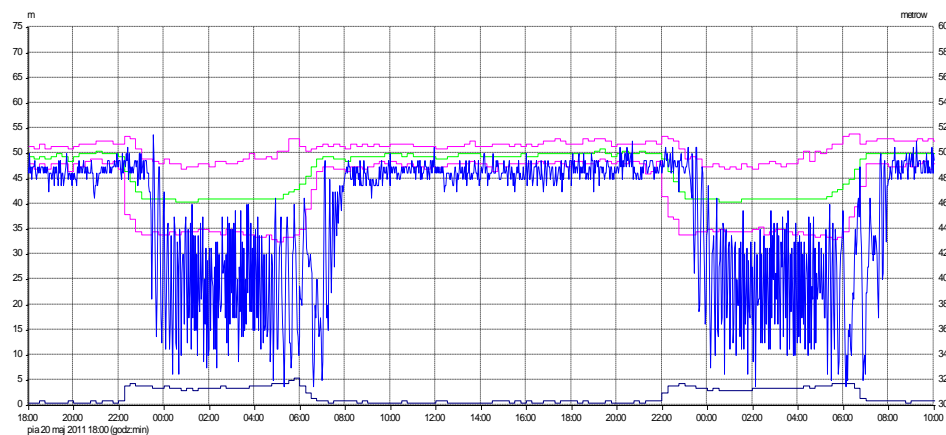
Zgodnie z rys. 13 - rzeczywista wartość ciśnienia posiada przebieg najbliższy linii oznaczonej jako ciśnienie min. Uzyskane informacje okazały się bardzo przydatne i pozwoliły na niedublowany pomiary ciśnienia na wyjściu z reduktora, w miejscach w których zastosowano sterowanie pracą reduktorów.





Rys. 13. Porównanie przebiegu linii ciśnienia zarejestrowanych przez sterownik i rejestrator (linia różowa i zielona – ciśnienia sterownik; linia seledynowa – ciśnienie rejestrator)

Bardzo często przy eksploatacji sterowników posiadających możliwość rejestracji i archiwizacji danych, stosuje się zapis z częstotliwością ok 10 min w celu m. in. oszczędności baterii. Takie postępowanie bardzo upraszcza obraz współpracy sieci z reduktorem (rys. 14). Stosunkowo duża wartość odchylenia standardowego między linią ciśnienia max i min spowodowała chęć otrzymania weryfikacji danych. Z tego powodu zdecydowano się na dodatkowy pomiar ciśnienia z częstotliwością zapisu co 30 sek. Linia niebieska obrazuje zmiany ciśnienia, zarejestrowane przez rejestrator. Pomimo wygładzonej linii ciśnienia otrzymanej ze sterownika (linia różowa) w rzeczywistości w godzinach nocnych reduktor w krótkich okresach czasu otwierał się i zamykał powodując wahania ciśnienia rzędu 1,4 bara. Należy pamiętać aby podczas zastosowania tego rodzaju regulacji zmiany nastaw ciśnienia zorganizować stosunkowo łagodnie (jako rozłożone w kilkuminutowym okresie czasu).



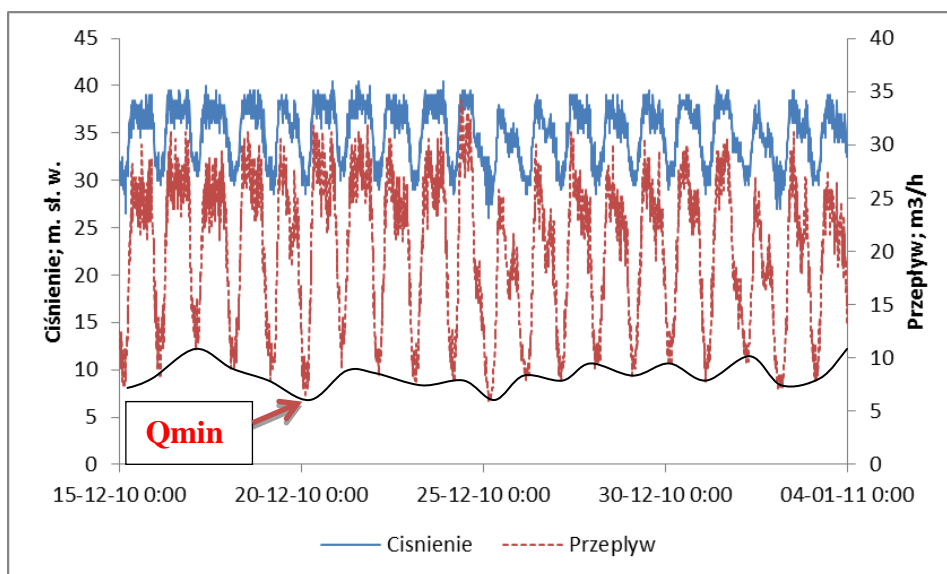
Rys. 14. Porównanie danych zarejestrowanych przez sterownik i rejestrator (linia różowa, linia zielona – wartości ciśnień zarejestrowane przez sterownik; linia granatowa – odchylenie standardowe pomiędzy wartościami min i max; linia niebieska – pomiar ciśnienia na hydrancie)

- **Sterowanie przepływem**

Sterowanie pracą reduktora na podstawie zarejestrowanej, chwilowej wartości przepływu (rys. 15) uznawane jest za jedno z najnowocześniejszych rozwiązań sterowania pracą reduktora.

Przy podjęciu decyzji o ustawieniu sterownika w trybie sterowania przepływem, pamiętać należy o zorganizowaniu pracy sterownika z wodomierzem o odpowiednio małej wadze impulsu. Odpowiednio częste impulsowanie pozwala na stosunkowo płynną regulację ciśnienia za reduktorem. Doświadczenia przeprowadzone w BPK pokazały że impulsowanie o wartości nawet  $0,1\text{m}^3$  nie jest właściwym do tego rodzaju regulacji. Użycie określonej wagi impulsu determinuje czas w którym sterownik odczytuje wartość przepływu i zadaje wartość ciśnienia. W tego rodzaju regulacji najbardziej sensownym rozwiązaniem wydaje się użycie przepływomierza.

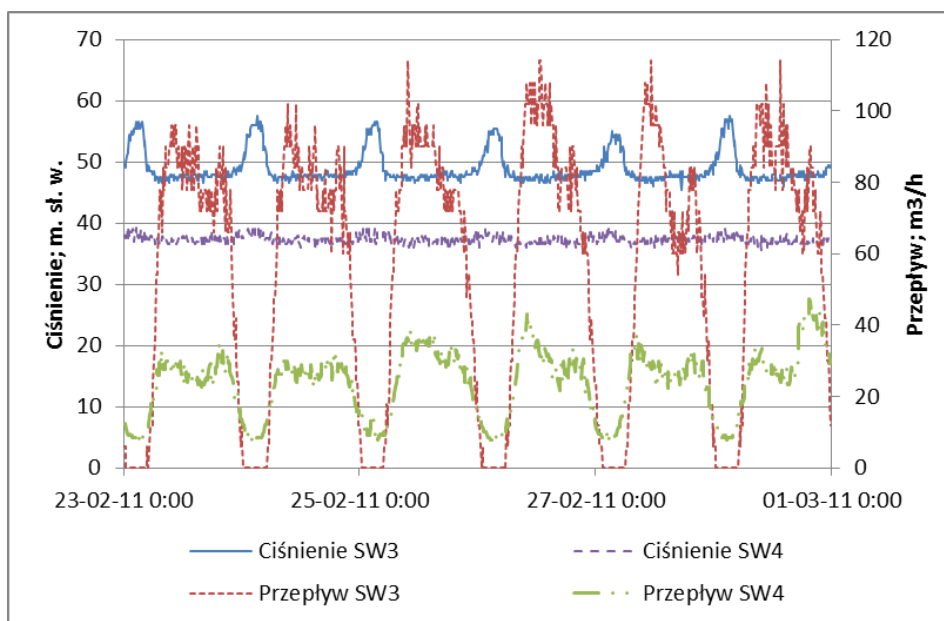
Należy mieć świadomość że w momencie zastosowania tego rodzaju regulacji pozbawiamy się możliwości analizy wartości minimalnego nocnego przepływu zasilanej strefy (rys. 15). Powodem takiej sytuacji jest fakt że dla różnych wartości przepływu ustawiana jest różna wartość ciśnienia. Wydajność awarii jest zmienna i zależna od chwilowej nastawy ciśnienia. W opisanej sytuacji bardzo ważną rolę pełni kąt nachylenia krzywej zależności przepływu od ciśnienia wprowadzanej do sterownika którego wartość wynika z analizy pracy sieci w najbardziej niekorzystnym punkcie. Im kąt ten ma większą wartość tym większa będzie amplituda zmienności ciśnienia na wyjściu z reduktora przy zmiennym przepływie i w porównaniu do krzywej o mniejszym nachyleniu.



Rys. 15. Modulacja ciśnienia na wyjściu z reduktora za pomocą wartości przepływu

## 7. Współpraca reduktorów ciśnienia ze zdalnie sterowaną przepustnicą

Na rys. 16 przedstawiono współpracę przepustnicy o stałym stopniu otwarcia z zaworem redukcyjnym. Zaistniała sytuacja spowodowana była: poprawą warunków hydraulicznych w danej strefie z powodu przebudowy 580m sieci, awarią sterowania przepustnicy oraz problemami z wydajnością, przekroczeniami i spadkami ciśnienia. W godzinach nocnych wzrost ciśnienia za reduktorem powyżej wartości nastawy powodował jego zamknięcie - zasilanie połączonego rejonu odbywało się wyłącznie przez przepustnicę. W ciągu dnia główne zasilanie odbywało się przez reduktor ciśnienia a przepustnica jedynie dosilała połączony obszar z w przybliżeniu stosunkowo stałą wartością przepływu.



Rys. 16. Współpraca reduktora z przepustnicą (SW3 – reduktor ciśnienia; SW4 - przepustnica)

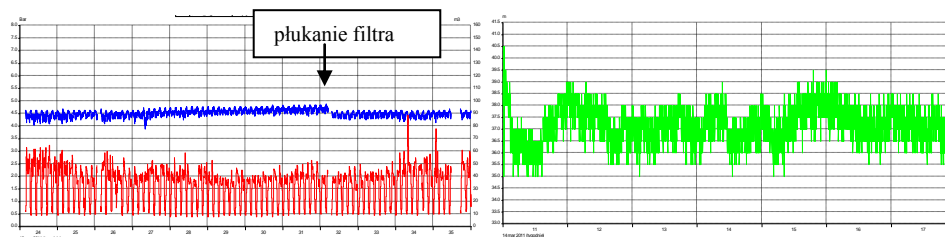
## 8. Przypadki eksploatacyjne

- **zanieczyszczenie filtra instalacji sterującej**

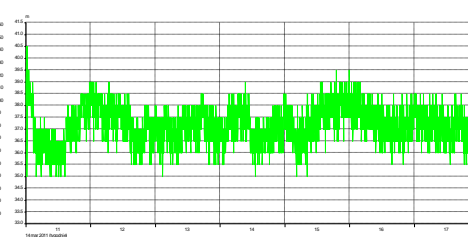
Przebieg linii ciśnienia na wyjściu z reduktora informuje o charakterystyce pracy zaworu oraz pozwala na zaobserwowanie sytuacji związanych z jej zaburzeniami. Do jednej z takich sytuacji można zaliczyć zanieczyszczenie filtra instalacji sterującej, przejawiające się wzrostem (Rys. 17.) lub falowaniem linii ciśnienia (Rys. 18.).

Bardzo ważną rolę w eksploatacji filtra instalacji sterującej odgrywa średnica oczek użytej siatki determinująca częstość jego czyszczenia (Rys.19).

Reduktory ciśnienia wyposażone w filtry samoczyszczące, pomimo ich nazwy, również wymagają czyszczenia (Rys. 20). Niestety czyszczenie tego rodzaju z filtrów jest o tyle problematyczne że wymaga całkowitego zamknięcia dopływu wody. Brak obejścia reduktora może wiązać się albo z brakiem zasilania wydzielonego rejonu sieci na czas czyszczenia albo z koniecznością zmiany kierunku zasilania.



Rys. 17. Wzrost linii ciśnienia spowodowany zatykaniem filtra instalacji sterującej



Rys. 18. Niestabilny przebieg linii ciśnienia spowodowany zanieczyszczeniem filtra instalacji sterującej



Rys. 19. Zanieczyszczony filtr instalacji sterującej

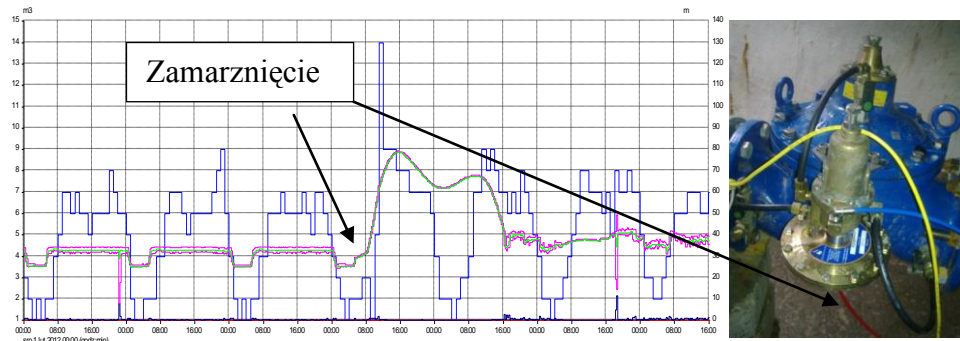


Rys. 20. Zanieczyszczony filtr samoczyszczący

- **zamarznięcie rurki sterownika nastaw reduktora**

Nagły i znaczny spadek temperatury w lutym br. z powodu bardzo małego zagłębienia oraz małych gabarytów studni redukcyjnej, spowodował zamarznięcie wody w jednej z rurek pneumatycznego sterownika nastaw reduktora (Rys. 21). Zwiększenie objętości wody po zamarznięciu zostało odczytane przez sterownik jako wzrost ciśnienia za reduktorem powodując zamknięcie zaworu. Do ustąpienia mrozów reduktor nie był sterowany za pomocą sterownika pneumatycznego.

- **rozerwany zawór instalacji sterującej (Rys. 22.)**
- **pęknięta sprężyna zaworu sterującego (Rys. 23. i Rys. 24.)**



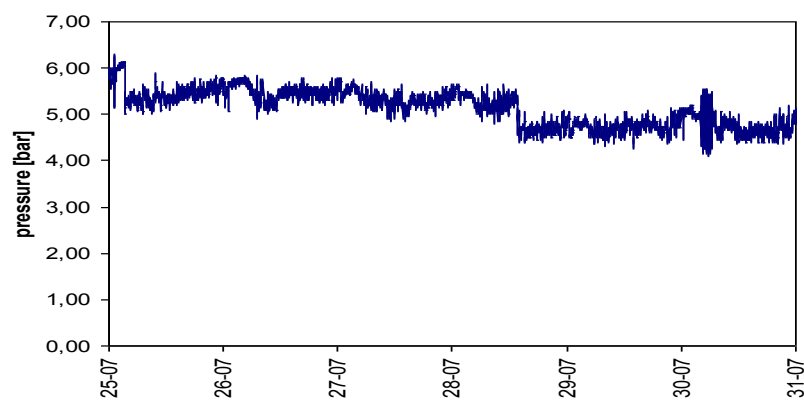
Rys. 21. Zamarznięcie rurki sterownika nastaw reduktora



Rys. 22. Pęknięty zawór instalacji sterującej



Rys. 23. Pęknięta sprężyna zaworu pilotującego



Rys. 24. Praca reduktora z pękniętą sprężyną zaworu pilotowego

## **9. Podsumowanie**

Przytoczone przykłady pokazują jak ważną rolę w eksploatacji reduktorów ciśnienia odgrywa ich poprawny dobór, serwisowanie oraz umiejętne zarządzanie ich pracą, w celu budowy zoptymalizowanego i niezawodnego systemu dystrybucji wody.

### **Literatura**

Materiały własne Bytomskiego Przedsiębiorstwa Komunalnego Sp. z o.o.

### **EXPLOITATION OF PRESSURE REDUCING VALVES – CASE STUDY FROM BPK SP. Z O.O.**

#### **S u m m a r y**

This paper presents issues related to the daily operation of the pressure reducing valves hydraulic controlled with optional time or flow control.