

# **Optymalizacja sterowania systemem zaopatrzenia w wodę na przykładzie Stacji Uzdatniania Wody Gruszczyń – Aquanet Poznań.**

## **CZEŚĆ 1.**

**Słowa kluczowe:** system wodociągowy, Stacja Uzdatniania Wody, prognoza zużycia wody, sterowanie produkcją wody, sterowanie ciśnieniem, wykrywanie awarii wodociągu, automatyzacja obsługi.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wykonaną na Stacji Uzdatniania Wody (SUW) Gruszczyń optymalizację sterowania systemem zaopatrzenia w wodę. Przedstawiono zakres wykonanej optymalizacji oraz porównano działanie SUW w okresie przed i po modernizacji. Ocena działania systemu zaopatrzenia w wodę SUW Gruszczyń wykazała 11,5% spadek całkowitego zużycia energii elektrycznej w wyniku dokonanej optymalizacji.

Artykuł podzielono na dwie części. Niniejsza – część 1. artykułu zawiera opis wdrożonej optymalizacji. W kolejnej części przedstawione zostanie porównanie działania systemu zaopatrzenia w wodę w okresach przed i po jego optymalizacji. W następnym miesiącu opisany zostanie także proces przejścia zarządzania obiektem w tryb bezobsługowy – sterowania z poziomu Centralnego Systemu Zarządzania Spółki AQUANET S.A. z Poznania.

**Keywords:** water network, Water Treatment Plant, water consumption prediction, water production flow control, pressure control, water network anomalies detection, automatic control.

### **Abstract**

This paper presents the optimization of the control system of the Water Treatment Plant (WTP) Gruszczyń. The scope of the undertaken optimization is described, and a comparison of two operational periods – before and after optimization – is made. The comparison showed that advanced control system led to 11,5% reduction of overall WTP energy consumption.

This article is divided into two parts. This part – Part 1 – of the article describes the implementation of water system optimization project. The comparison of the water system performance before and after optimization will be introduced in the next part. Also, the process of moving WTP management towards automatic control from AQUANET Poznań Central Management System will be described in Part 2.

## 1. WPROWADZENIE

Podstawowym zadaniem systemów zaopatrzenia w wodę jest dostarczenie ludności wody o wymaganej jakości, ilości oraz pod odpowiednim ciśnieniem.

Celem każdego operatora systemu wodociągowego jest wykonanie powyższego zadania przy jak największej niezawodności działania urządzeń wodociągowych oraz przy optymalnie niskich kosztach operacyjnych.

Początkowo urządzenia wodociągowe były sterowane ręcznie przez operatorów, ale już od połowy lat 70-tych ubiegłego wieku rozpoczął się proces automatyzacji systemów wodociągowych [1].

Ze względu na ograniczone możliwości obliczeniowe, pierwsze systemy sterowania były raczej proste. Systemy te charakteryzowała prostota i pewność działania, nie pozwalały one jednak na pełną optymalizację działania urządzeń wodociągowych oraz wyraźną poprawę efektywności energetycznej systemu wodociągowego [2].

W celu poprawy wydajności działania systemów wodociągowych zostały opracowane i wdrożone do działania zaawansowane programy sterujące.

Tego typu oprogramowanie jest używane m.in. do sterowania pracą pomp oraz produkcją wody na Stacjach Uzdatniania Wody (zwanych dalej: SUW).

Badania przeprowadzone na różnych systemach wodociągowych w Holandii wskazują, iż zastosowanie automatycznego sterowania pracą pomp SUW pozwala na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o ok. 5% oraz zmniejszenie mętności wody o 19% [3]. Podobne badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych wskazały na 12% redukcję kosztów energii elektrycznej [4].

Kolejną możliwością zwiększenia wydajności systemów wodociągowych jest odpowiednie zarządzanie ciśnieniem w sieci wodociągowej. W większości przypadków wdrożenie zarządzania ciśnieniem polega na tworzeniu obszarów niższego ciśnienia oraz instalowaniu na sieci dystrybucyjnej zaworów redukujących ciśnienie. Odpowiednie zarządzanie ciśnieniem prowadzi do zmniejszenia strat wody i tak np. badania przeprowadzone w Gold Coast w Australii wykazały zmniejszenie strat wody o 21% w wyniku redukcji ciśnienia w sieci wodociągowej [5]. Zmniejszenie strat wody w sieci prowadzi również do zmniejszenia zużycia energii przez system wodociągowy [6].

W niniejszym artykule opisana zostanie optymalizacja działania systemu wodociągowego SUW Gruszczyń, której właścicielem i eksploatatorem jest Spółka AQUANET S.A. z Poznania. Optymalizacja osiągnięta została w wyniku implementacji na SUW Gruszczyń

nowoczesnego oprogramowania sterującego zarówno wielkością produkcji wody jak i ciśnieniem wody podawanej do sieci.

## **2. WDROŻENIE SYSTEMU ZAAWANSOWANEGO STEROWANIA NA SUW GRUSZCZYN**

### **2.1. SUW Gruszczyn**

Stacja uzdatniania wody w Gruszczynie po modernizacji zakończonej w roku 2007 przystosowana została do produkcji wody w ilości 24000 m<sup>3</sup>/d. Nowy układ technologiczny SUW obejmuje otwarte napowietrzanie wody wraz z jej odgazowaniem, filtrację pierwszego stopnia na filtrach antracytowo – kwarcowych oraz filtrację drugiego stopnia na filtrach węglowych. Układ dezynfekcji po modernizacji nie uległ zmianie – jest ona dwustopniowa – chlor dozowany jest przed zbiornikami wody czystej, natomiast na wyjściu ze stacji – do sieci wodociągowej, dawkowany jest dwutlenek chloru.

Sterowanie pracą stacji odbywa się w systemie automatycznym. Usprawniło to przede wszystkim proces płukania, który realizowany jest za pomocą sprężonego powietrza oraz wody, według precyzyjnie określonego modelu.

Modernizacją objęta została również gospodarka osadowa - podczas płukania do rurociągu wód popłucznych dodawany jest polielektrolit, natomiast osad z odstojników kierowany jest do mechanicznego zagęszczacza, z którego wywożony jest na Oczyszczalnię Ścieków.



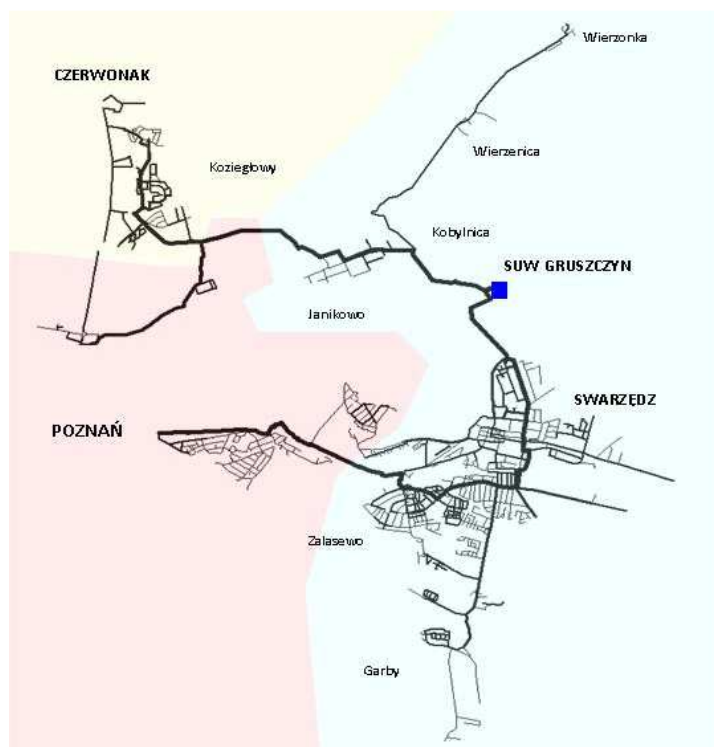
*Fot. 1 SUW- Gruszczyn przed modernizacją*



*Fot. 2 SUW- Gruszczyn po przeprowadzonej w latach 2004-2007 modernizacji*

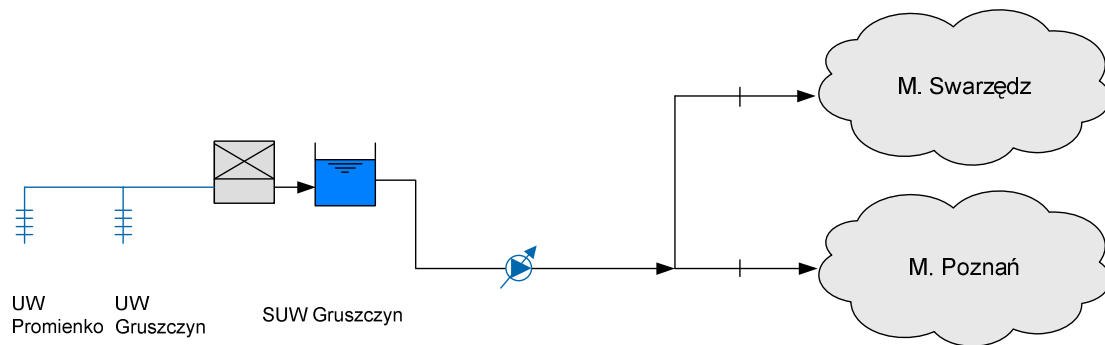
System dystrybucji wody z SUW Gruszczyn obejmuje 2 strefy zaopatrzenia tj.

- sieć wodociągową gm.Swarzędz,
- sieć wodociągową części gm.Czerwonak i części m.Poznania.



*Rys. 1 Obszar zasilany przez Stację Uzdatniania Wody Gruszczyn*

Łączna długość sieci wodociągowej dla obu stref wynosi ok. 159 km w tym ok. 20 km sieci magistralnej DN 400 ÷ 600 mm. SUW zaopatruje w wodę niemal 50 tys. mieszkańców oraz kilka znaczących zakładów przemysłowych (20 ÷ 25 % sprzedaży wody). Struktura materiałowa rurociągów jest zróżnicowana z przewagą PE i PCV w obu strefach, rurociągi te stanowią > 75 % wszystkich rurociągów. Największy przyrost długości sieci w obu strefach datuje się na lata 1980 ÷ 1990 oraz 2000 ÷ 2010.



**Rys. 2** Schemat systemu zaopatrzenia w wodę SUW Gruszczyń

## 2.2. Sterowanie przepływem produkcji wody

W pierwszym etapie procesu automatyzacji i optymalizacji pracy SUW Gruszczyń, zastosowano regulację przepływu za pomocą rozproszonych sterowników PLC. W zaprojektowanym układzie na podstawie pomiaru poziomu wody w zbiorniku wody czystej realizowane jest sterowanie wydajnością pomp głębinowych – zwiększenie poziomu wody w zbiorniku powoduje zmniejszenie wydajności ujęcia, i na odwrót. Zastosowane rozwiązanie pozwoliło na automatyzację procesu sterowania wielkością produkcji wody. Nie było to jednakże rozwiązanie optymalne, ze względu na występujące znaczne różnice wielkości zapotrzebowania na wodę, co skutkowało częstymi zmianami nastaw ilości produkowanej wody.

W drugim etapie projektu na SUW Gruszczyń zainstalowane zostało oprogramowanie optymalizujące sterowanie systemem wodociągowym – OPIR (Optimal Production through Intelligent Regulation co oznacza: Optymalizacja Produkcji poprzez Inteligentne Sterowanie). Program ten dokonuje prognoz zapotrzebowania na wodę w strefie dystrybucyjnej i na ich podstawie generuje odpowiednie nastawy dla pracy pomp, zasuw i innych urządzeń SUW. Zastosowany model prognozuje zapotrzebowanie na wodę w obszarze dystrybucji SUW Gruszczyń na najbliższe 48 godzin w 15 minutowych przedziałach czasowych.



**Rys. 3** Przykładowy dzień pracy modelu OPIR na SUW-Gruszczyn

Powyższy wykres przedstawia rzeczywistą produkcję wraz z prognozą na przykładzie z dnia 22 maja 2013 r., na którym:

—■— linia wykreślona kolorem zielonym z widocznymi kropkami wyznacza prognozę wielkości dystrybuowanej wody wykonaną 48 godzin wcześniej,

— linia łamana wykreślona kolorem zielonym przedstawia rzeczywistą wartość dystrybuowanej wody.

Trend popytu dobowego (■) składa się z 96 wartości kwartalnych, 1 wartość dla każdego kwadransu w godzinie. Trendy popytu są wykonywane dla każdego dnia typowego osobno, jak również dla każdego skonfigurowanego dnia specjalnego (soboty, niedziele, święta państwowe, kościelne, Nowy Rok, okres wakacji itd.). Układ w przypadku wykonania prognozy dnia typowego analizuje i przyswaja informacje na temat trendów, biorąc pod uwagę trendy z poprzednich siedmiu tygodni, korygując jego wartość występowaniem czynników mających wpływ na popyt (płukanie sieci, święta, okres wakacyjny, itp.).

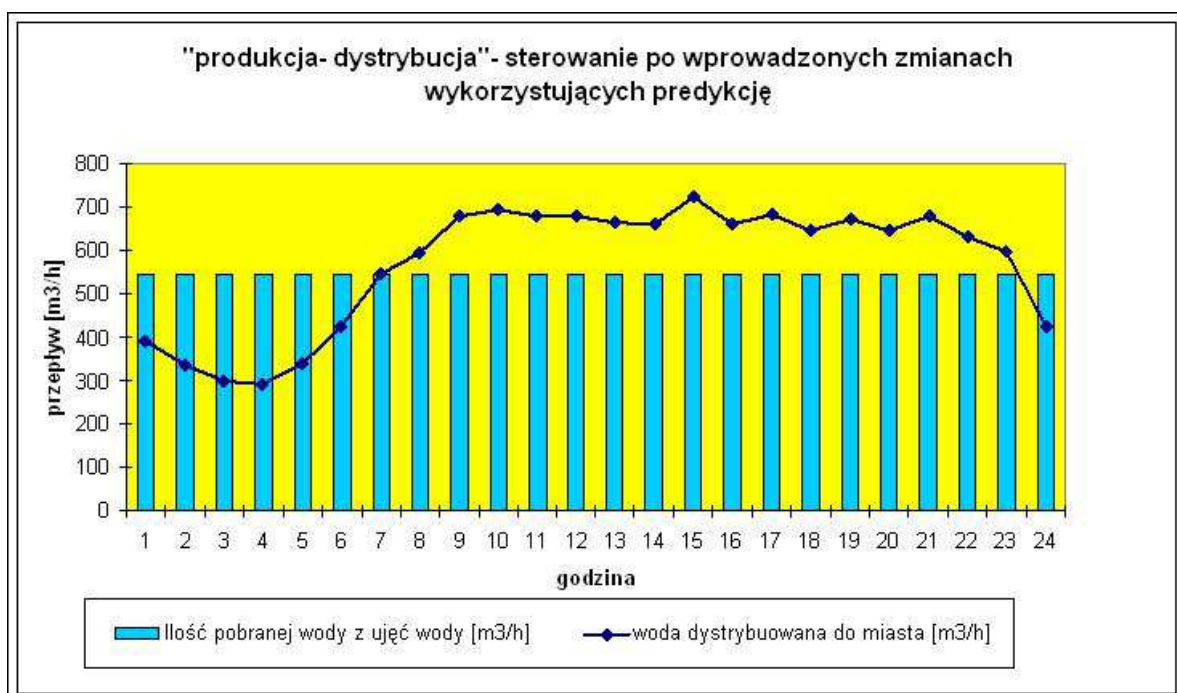
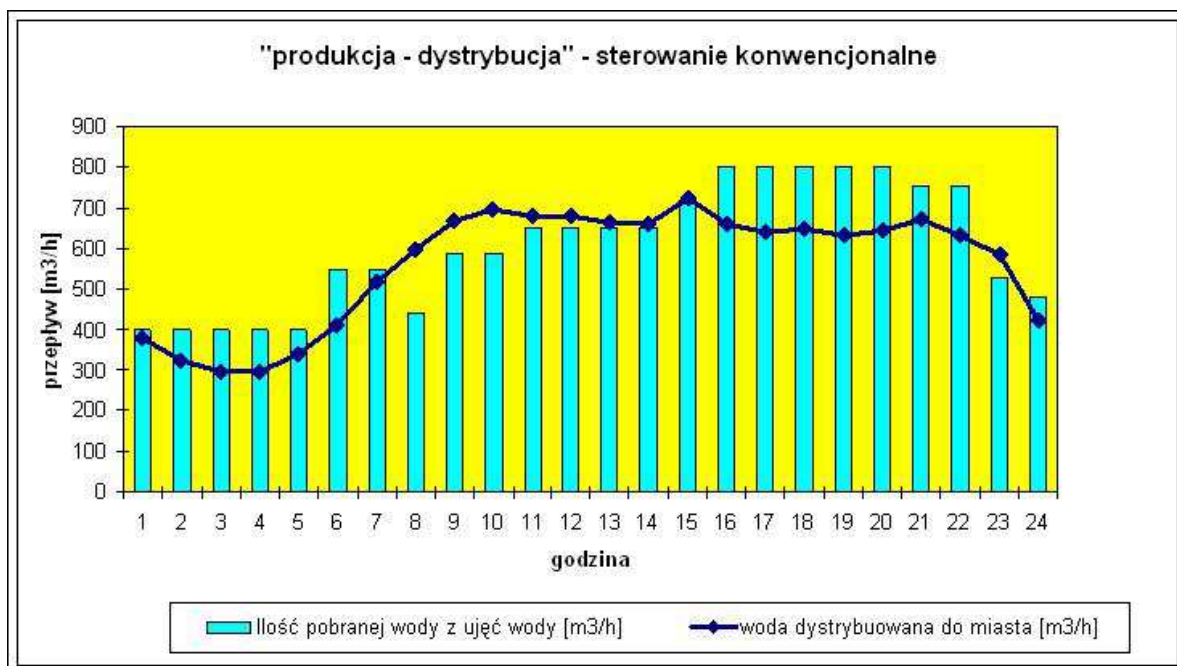
—■— linia wykreślona kolorem czerwonym z widocznymi kropkami przedstawia prognozę produkcji wykonaną 48 godzin wcześniej. Jest to graficzne przedstawienie wielkości produkcji (całego reżimu technologicznego ujęcia, uzdatniania i dezynfekcji wody),

— linia łamana wykreślona kolorem czerwonym oznacza rzeczywistą wielkość produkcji stacji. Jest to graficzne oddanie wielkości produkcji (całego reżimu technologicznego ujęcia, uzdatniania i dezynfekcji wody),

— linia wykreślona kolorem niebieskim z widocznymi kropkami prezentuje prognozę wysokości napełnienia zbiornika retencyjnego wykonaną 48 godzin wcześniej. Jest to graficzne przedstawienie prognozowanej wielkości dostępnej retencji,

— linia łamana wykreślona kolorem niebieskim ukazuje rzeczywistą wysokość napełnienia zbiornika retencyjnego. Jest to graficzne przedstawienie wielkości dostępnej retencji.

Prognozujący algorytm programu jest samouczący, co oznacza, iż automatycznie tworzy bazę danych zawierającą wszystkie historyczne krzywe zapotrzebowania na wodę by na ich podstawie określić przyszłe zapotrzebowanie na wodę. Szczegóły dotyczące działania takiego modelu prognozującego zostały opisane w publikacji współautora niniejszego artykułu – Martijna Bakker [7]. Na podstawie wykonanej prognozy zapotrzebowania na wodę, algorytm programu dokonuje niezbędnych obliczeń nastaw dla wielkości produkcji wody. Algorytm działa w ustalonych granicach górnego i dolnego poziomu wody w zbiorniku wody czystej – poziom wody musi się utrzymywać między określonymi granicami. Program optymalnie wykorzystuje dostępną retencję zbiornika i utrzymuje wielkość produkcji wody na bardzo wyrównanym poziomie. Na *Rys. 4* poniżej przedstawiono porównanie produkcji i dystrybucji wody w dwóch okresach: przed wprowadzaniem sterowania opartego o algorytm sterujący (sterowanie konwencjonalne PLC) i po uruchomieniu programu optymalizującego OPIR. W kolejnej części artykułu krótko opisane zostaną oba okresy porównawcze.



**Rys. 4** Porównanie zależności na linii produkcja/ dystrybucja przy sterowaniu konwencjonalnym (górny wykres) oraz po uruchomieniu programu optymalizującego (dolny wykres)

### 2.3. Sterowanie ciśnieniem

W pompowni II<sup>o</sup> na SUW Gruszczyn zainstalowanych jest pięć jednakowych pomp z silnikami współpracującymi z falownikami regulującymi obroty.





*Fot. 3 SUW- Gruszczyn zespół pomp dystrybucyjnych*

Wszystkie pompy pracują jako jeden zespół pompowy tłocząc jednakowe ciśnienie, którego wartość uzależniona jest od informacji przekazywanej z zainstalowanych na sieci punktów pomiarowych. Uzdatniona woda pompowana jest do dwóch oddzielnych stref dystrybucyjnych – Swarzędz oraz Poznań. Na pompach utrzymywane jest równe ciśnienie w obu kierunkach przy czym przed wprowadzeniem optymalizacji ciśnienie dla strefy Swarzędz było obniżane za pomocą zaworu redukcyjnego.

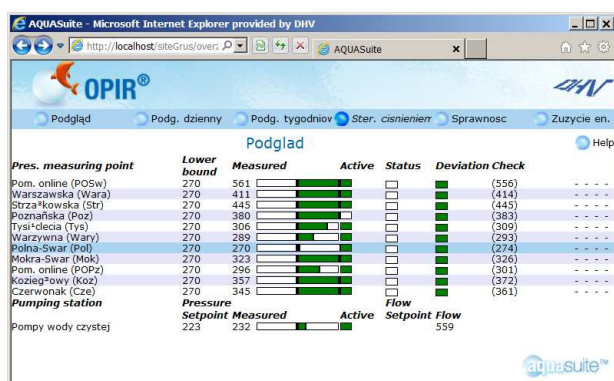


*Fot. 4 Zdemontowany zawór obniżający ciśnienie dla strefy dystrybucji Swarzędz.*

W celu optymalizacji i sterowania ciśnieniem dystrybucyjnym w sposób aktywny zdemontowano zawór redukcyjny, a w różnych punktach sieci dystrybucyjnej zainstalowanych zostało dziewięć punktów pomiarowych ciśnienia i przepływu zasilanych bateryjnie oraz wykorzystano dwa punkty pomiaru ciśnienia on-line (zasilanie elektryczne). Mierzone wartości ciśnień wykazały, iż nie ma potrzeby „sztucznego” utrzymywania dwóch

stref ciśnienia. Po demontażu zaworu redukującego ciśnienie, ciśnienia w obu strefach dystrybucji wody zostały wyrównane.

W celu sterowania wielkością ciśnienia dystrybucyjnego, w modelu OPIR zainstalowany został dodatkowy moduł sterujący DPCM (Dynamic Pressure Control Module co oznacza – Dynamiczny Moduł Sterowania Ciśnieniem). Poniższy rysunek przedstawia przykładowy interfejs użytkownika DPCM.



Rys. 5 Interfejs modułu sterowania ciśnieniem

Na interfejsie widoczne są wszystkie punkty pomiarowe, wartości ciśnień pomierzonych oraz najniższe dopuszczalne wartości ciśnienia ustalone dla każdego punktu - nastawy graniczne.

Przy tradycyjnym (statycznym) sterowaniu nastawa ciśnienia była stałą wartością określaną przez Operatora. Model DPCM działa w sprzężeniu zwrotnym i w sposób dynamiczny poprzez porównywanie wielkości ciśnień pomierzonych z określonymi wartościami ciśnień minimalnych, oblicza nastawy dla stacji pomp. Punkt pomiarowy, dla którego ciśnienie jest najbliższe dolnej granicy, jest głównym punktem odniesienia dla sterowania ciśnieniem. Na Rys. 5 wspomniane wyżej ciśnienie wzorcowe jest wizualizowane za pomocą podświetlonej na kolor ciemno-niebieski belki.

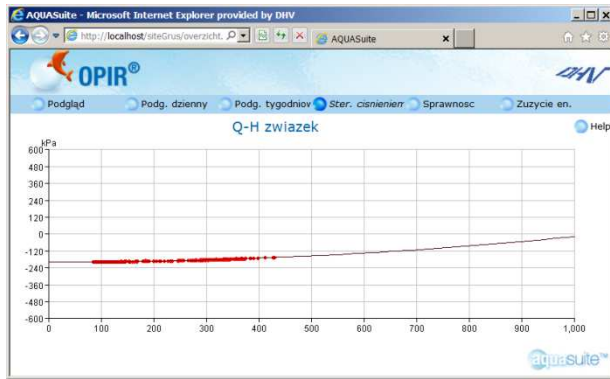
#### 2.4. Punkty pomiarowe ciśnienia

Punkty pomiarowe ciśnienia zostały wyposażone w lokalne rejestratory oraz modemy GSM. Pomierzone wartości ciśnień są lokalnie buforowane a następnie dla punktów bateryjnych raz na dzień transmitowane do systemu SCADA SUW Gruszczyn, dla pozostałych dwóch przekazywane on-line. Oznacza to, że wartości pomiarowe ciśnienia z 9 punktów bateryjnych nie są dostępne w czasie rzeczywistym. Pomimo to model DPCM wykonuje w czasie rzeczywistym obliczenia wielkości ciśnienia  $p_i$  dla każdego punktu

pomiarowego  $i$  jako funkcję mierzonej w czasie rzeczywistym wartości ciśnienia w stacji pomp  $p_{ps}$  oraz ilości wody podawanej do sieci  $F_{dyst}$ :

$$p_i = p_{ps} + a + b \cdot F_{dyst}^2 \quad [kPa] \quad (1)$$

Wartości  $a$  i  $b$  w równaniu (1) są wyznaczone przez model DPCM na podstawie danych przekazanych z punktów pomiarowych ciśnienia w okresie poprzednich 72 godzin (Rys. 6).



**Rys. 6** Linia trendu przedstawiająca związek pomiędzy wielkością przepływu a spadkiem ciśnienia między stacją pomp i punktem pomiarowym, wyznaczona metodą najmniejszych kwadratów.

DPCM jest, więc modelem działającym w sprzężeniu zwrotnym, wykorzystującym prognozowane wielkości jako dane wejściowe, przez co stanowi pewnego rodzaju hybrydę układu prognozującego i sprzężenia zwrotnego. Układ taki został opisany przez Ulanicki i inni w 2000 r. [8]

### 3. PODSUMOWANIE

W niniejszej części 1 artykułu przedstawiono narzędzia optymalizacyjne jakie zostały zainstalowane na systemie zaopatrzenia w wodę SUW Gruszczyń, eksploatowanym przez Aquanet Poznań S.A. W kolejnej części przedstawione zostanie porównanie dwóch okresów działania systemu SUW Gruszczyń – przed i po optymalizacji. Obliczone zostaną spadki zużycia energii elektrycznej i strat wody w sieci dystrybucyjnej, osiągnięte dzięki zainstalowanemu oprogramowaniu sterującemu.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Bunn S.: Closing the loop in water supply optimisation, Proceedings IET Water Event 2007, Coventry.
- [2] Bakker M., Van Schagen K., Timmer J.: Flow control by prediction of water demand, *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*.52 (6)/ 2003: s. 417-424.
- [3] Bakker M., Vreeburg J.H.G., Palmen L.J., Sperber V., Bakker G., Rietveld L.C.: Better water quality and higher energy efficiency by using model predictive flow control at water supply systems., *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 2013.
- [4] Bunn S.M., Reynolds L.: The energy-efficiency benefits of pumps-scheduling optimization for potable water supplies., *IBM Journal of Research and Development*, 53 (3), 2009.
- [5] Girard M., Stewart R.A.: Implementation of pressure and leakage management strategies on the gold coast, Australia: Case study, *Journal of Water Resources Planning and Managements*, 133 (3), s. 210-217, 2007.
- [6] Colombo A.F., Karney B.W.: Impacts of leaks on energy consumption in pumped system with storage, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131 (2), s. 146-155, 2005.
- [7] Bakker M., Rietveld L.C., Schagen K.M.: Short term water demand forecasting with a general adaptive model, *Journal of Environmental Modelling and Software*, 2013.
- [8] Ulanicki B., Bounds P.L.M., Rance J.P., Reynolds L.: Open and closed loop pressure control for leakage reduction, *Urban Water*, 2 (2), s. 105-114, 2000.