

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

## **CZEŚĆ 2.**

**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 stanowi kontynuację artykułu z poprzedniego miesiąca i zawiera porównanie działania systemu zaopatrzenia w wodę w okresach przed i po jego optymalizacji. Opisano także proces przejścia zarządzania obiektem w tryb bezobsługowy – sterowania z poziomu Centralnego Systemu Zarządzania Spółki AQUANET S.A. z Poznania. W poprzedniej części artykułu opisano zakres wdrożonej optymalizacji.

**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 2 – of the article is the continuation from the previous month and contains the comparison of the water system performance before and after optimization. Also, the process of moving WTP management towards automatic control from AQUANET Poznań Central Management System is also described in this Part. In the previous part the scope of the undertaken optimization was introduced.

# 1. OCENA WDROŻENIA ZAAWANSOWANEGO STEROWANIA NA DZIAŁANIE SUW GRUSZCZYN

## 1.1. Okresy oceny

W celu oceny wydajności działania systemu OPIR dokonano porównania pomiędzy działaniem SUW w okresie przed uruchomieniem systemu oraz po przejściu sterowania SUW przez program optymalizujący.

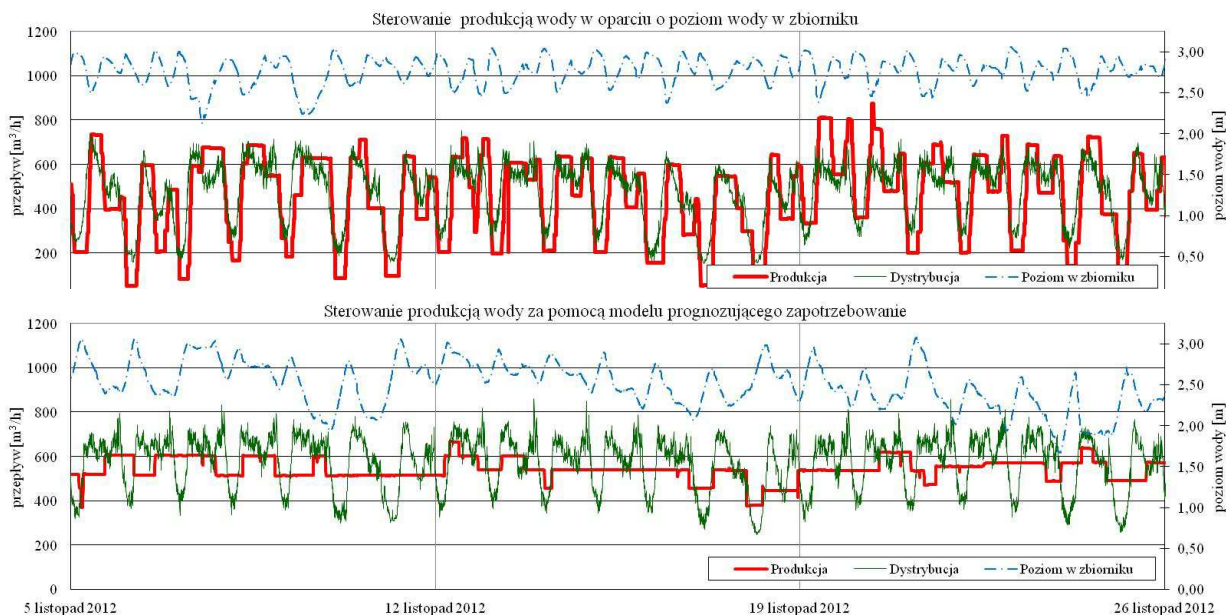
Porównywane okresy charakteryzowały się:

1. Zbliżoną charakterystyką zapotrzebowania na wodę;
2. Dostępnością wystarczającej ilości danych;
3. Minimalną liczbą sytuacji nieprawidłowych jak np. awarie zasilania.

Dokonano porównania działania SUW Gruszczyn w okresie trzech tygodni listopada 2011 r. (okres sterowania konwencjonalnego) oraz 3 tygodni listopada 2012 r. (okres sterowania zoptymalizowanego).

## 1.2. Sterowanie przepływem produkcji

Na Rys. 1 pokazano linie trendów zapotrzebowania na wodę, przepływ produkcji wody oraz poziom wody w zbiorniku dla obu badanych okresów.



**Rys. 1** Porównanie zmian produkcji wody w okresie sterowania w oparciu o poziom wody w zbiorniku (górny wykres) oraz w okresie sterowania za pomocą modelu prognozującego zapotrzebowanie na wodę (dolny wykres).

Linia trendu dla okresu sterowania produkcją wody w oparciu o poziom wody w zbiorniku (sterowanie konwencjonalne) pokazuje, że ilość produkowanej wody jest mniej

więcej zbieżna z ilością wody dystrybuowanej do sieci, z 2 ÷ 3 godzinnym przesunięciem czasowym. Minimalne i maksymalne przepływy produkcji są porównywalne z minimalnymi i maksymalnymi przepływami dystrybucyjnymi, występują częste włączenia i wyłączenia urządzeń. Przy sterowaniu produkcją wody za pomocą modelu prognozującego jej zapotrzebowanie (sterowanie zoptymalizowane przez OPIR) ilość produkowanej wody jest stała w dłuższych okresach. Od czasu do czasu przepływ produkcji zmienia się w odpowiedzi na błędy prognozy bądź też różnice pomiędzy nastawą produkcji a produkcją rzeczywistą.

W *Tab. 1* zestawiono dane pokazujące, że sterowanie produkcją w oparciu o model prognozujący zapotrzebowanie na wodę prowadzi do 83% mniejszej zmienności produkcji. W celu oceny zmienności przepływu produkcji, zdefiniowano Zmienność Produkcji na dobę ( $PV_d$ ) jako sumę (wartości bezwzględnych) różnicy kolejnych średnich godzinowych wielkości przepływów produkcji ( $F_{prod,d,h}$ ), podzieloną przez całkowitą dobową produkcję wody:

$$PV_d = \frac{\sum_{h=1:24} |F_{prod,d,h} - F_{prod,d,h-1}|}{\sum_{h=1:24} F_{prod,d,h}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Bakker i inni [1] wykazali związek pomiędzy mętnością wody a zmianami przepływu produkcji. Na podstawie badań można się spodziewać zmniejszenia mętności wody, uzyskanego dzięki bardziej stałemu przepływowi produkcji.

W *Tab. 1* przedstawiono również minimalne i maksymalne wartości przepływu produkcji dla obu badanych okresów, oraz różnicę między tymi wartościami. Różnica między wartościami skrajnymi w okresie zoptymalizowanego sterowania produkcją była o 67% mniejsza od tej samej różnicy w okresie sterowania konwencjonalnego.

**Tab. 1** Różnice pomiędzy konwencjonalnym a zoptymalizowanym sterowaniem produkcją wody

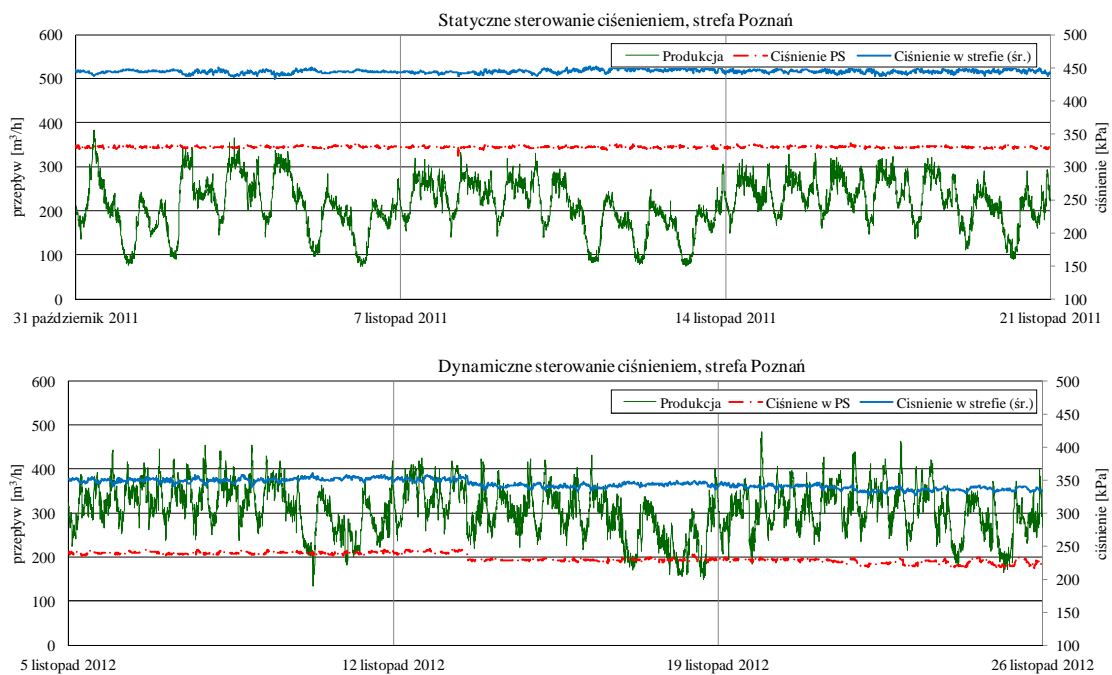
	<b>Sterowanie konwencjonalne</b>	<b>Sterowanie zoptymalizowane</b>	<b>Różnica</b>
PV [%]	9.3	1.6	-83%
<i>Przepływ produkcji</i>			
Min. [m <sup>3</sup> /h]	52	367	+600%
Max. [m <sup>3</sup> /h]	875	636	-27%
Max.-Min. [m <sup>3</sup> /h]	823	269	-67%
<i>Energia (szac.)</i>			
Zużycie [kWh/m <sup>3</sup> ]	0,456	0,447	-1,9%
Koszt [zł/1000 m <sup>3</sup> ]	115,21	112,06	-2,7%

Kolejnym aspektem przedstawionym w powyższej tabeli jest zużycie energii elektrycznej oraz jej koszt. Zastosowanie zoptymalizowanego sterowania produkcją przełożyło się na

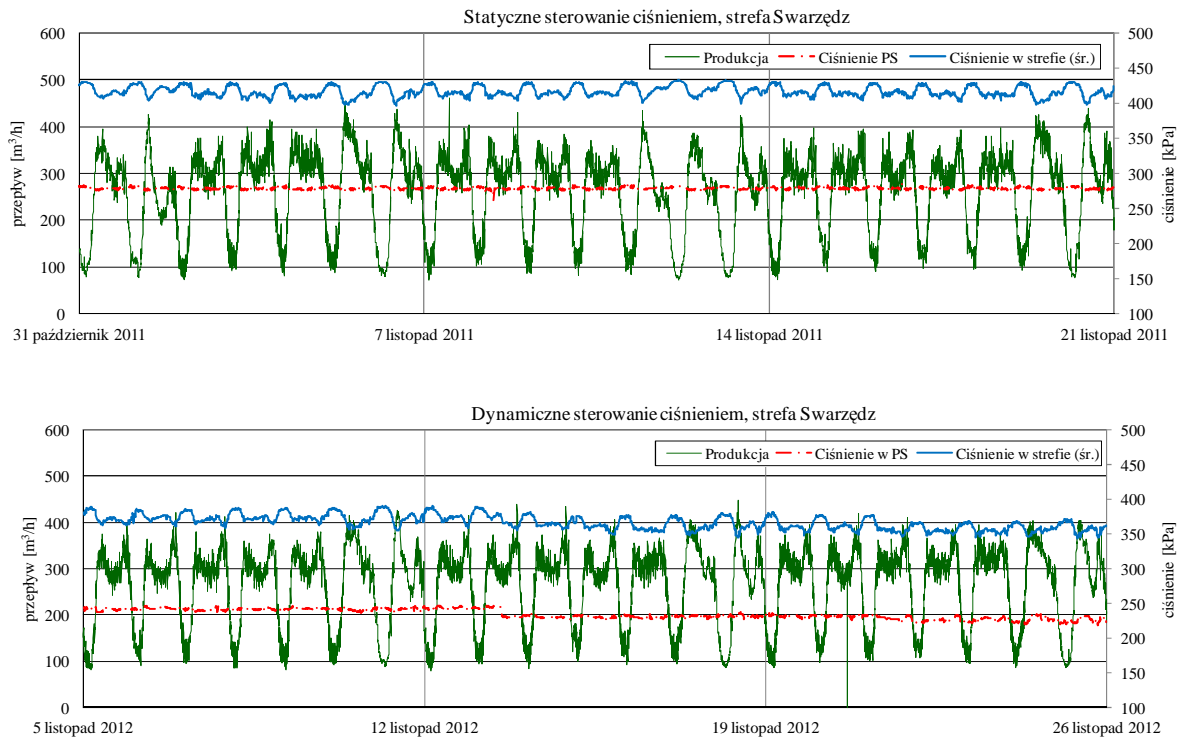
blisko 2% spadek zużycia energii elektrycznej. Równocześnie dzięki wykorzystaniu możliwości modelu do sterowania pracą pomp w powiązaniu z taryfami energii elektrycznej, oszacowano większy bo blisko 3% spadek kosztów energii elektrycznej.

### 1.3. Sterowanie ciśnieniem

Na dwóch poniższych rysunkach *Rys. 2*, *Rys. 3* przedstawiono linie trendu zapotrzebowania na wodę w powiązaniu z ciśnieniem wyjściowym na stacji pomp SUW Gruszczyn oraz średnią wartością ciśnienia w danej strefie zasilania.

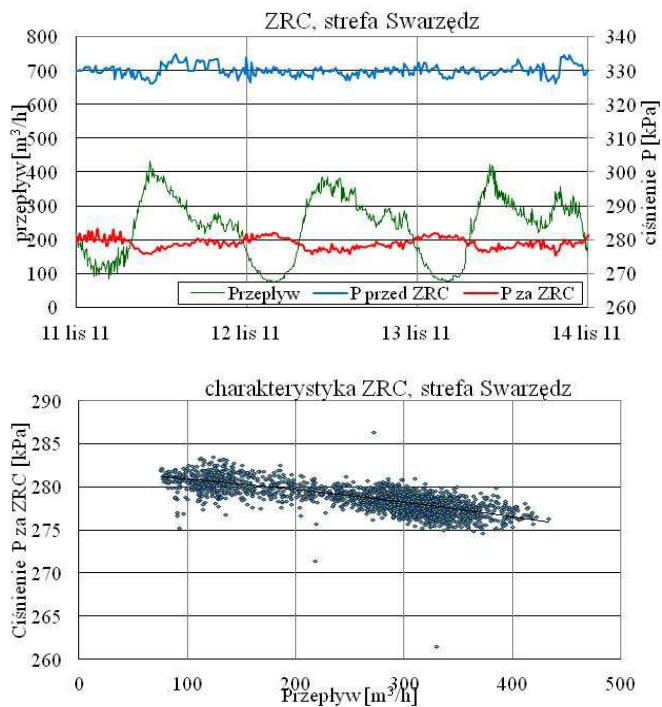


**Rys. 2** Porównanie okresu statycznego sterowania ciśnieniem (górny wykres) oraz sterowania dynamicznego za pomocą modelu prognozującego zapotrzebowanie na wodę (dolny wykres), strefa Poznań.



**Rys. 3** Porównanie okresu statycznego sterowania ciśnieniem (górny wykres) oraz sterowania dynamicznego za pomocą modelu prognozującego zapotrzebowanie na wodę (dolny wykres), strefa Swarzędz.

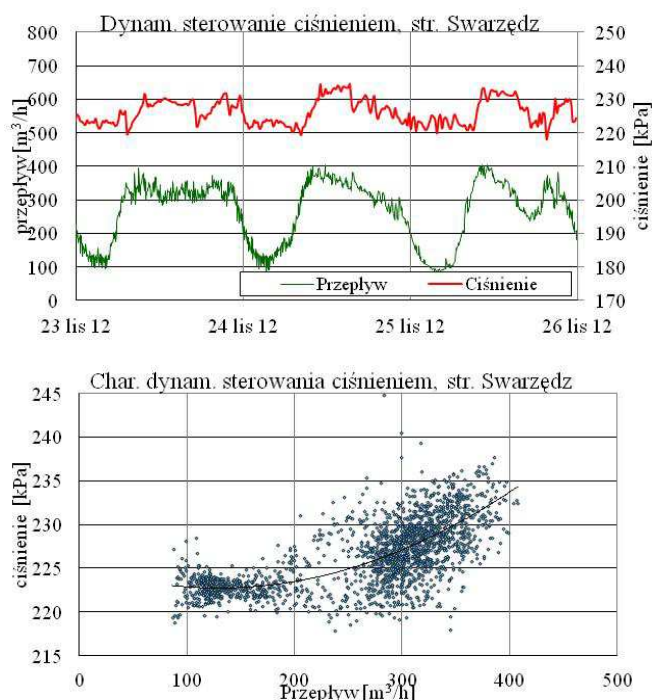
Tak jak już wspomniano wyżej, w pierwotnym układzie sterowania ciśnieniem na wejściu do strefy Swarzędz zamontowany był Zawór Redukujący Ciśnienie (ZRC). Pompy wody czystej pracowały z ustalonym ciśnieniem 330 kPa, a reduktor ciśnienia redukował jego wartość dla strefy Swarzędz do 280 kPa. Zainstalowany reduktor wykazywał ograniczoną zależność od wielkości przepływu – w czasie niskiego zapotrzebowania na wodę ciśnienie za reduktorem było nieznacznie wyższe niż w czasie zapotrzebowania wysokiego (Rys. 4).



**Rys. 4** Ciśnienie na wejściu do strefy zasilania Swarzędz za Zaworem Redukującym Ciśnienie (ZRC) przed jego demontażem

Takie działanie ZRC jak opisane powyżej było jednak niepożądane. W czasie niskiego zapotrzebowania na wodę dynamiczny spadek ciśnienia pomiędzy pompownią a strefą dystrybucji jest niższy, w związku z czym właściwe ciśnienie wylotowe powinno być niższe, a nie wyższe.

Ta sytuacja została poprawiona po zdemontowaniu ZRC i przejęciu sterowania ciśnieniem przez moduł DPCM (Rys. 5).



**Rys. 5** Ciśnienie na wejściu do strefy zasilania po demontażu ZRC, przy dynamicznym sterowaniu ciśnieniem

Na powyższym wykresie widać wyraźnie, iż po zdemontowaniu ZRC oraz wdrożeniu do działania dynamicznego sterowania ciśnieniem, wielkość ciśnienia zmienia się wraz z wielkością przepływu wody tłoczonyj do sieci strefy Swarzędz – ciśnienie wyraźnie maleje przy niskim zapotrzebowaniu na wodę i rośnie przy wyższych przepływach. Wyraźnie widoczna jest także zależność kwadratowa pomiędzy wielkością ciśnienia a przepływem.

Sterowanie wielkością ciśnienia w powiązaniu z wielkością przepływu jest także możliwe za pomocą specjalnych urządzeń sterujących ciśnieniem jak np. AQUAI-MOD® [2]. Zaletą zastosowanego na SUW Gruszczyn sterowania dynamicznego OPIR DPCM w porównaniu do tego typu urządzeń jest łatwiejsza kalibracja oraz automatyczne dostosowywanie się do zmian charakterystyki hydraulicznej bądź zapotrzebowania na wodę. Potencjalną wadą modułu DPCM jest konieczność zapewnienia zasilania i infrastruktury komunikacyjnej.

Po włączeniu dynamicznego sterowania ciśnieniem na SUW Gruszczyn, ciśnienie na pompach wody czystej zmniejszone zostało o 97 kPa (29%) - *Tab. 2*.

Średnie ciśnienie w strefach dystrybucji zmniejszyło się o 100 kPa (23%) dla Poznania oraz 50 kPa (12%) dla Swarzędza. Redukcja ciśnienia dla strefy Swarzędz była niższa, ponieważ wcześniej działał tam zawór redukujący ciśnienie. Ilość wody dopływającej do strefy Poznań w badanym okresie sterowania dynamicznym ciśnieniem była wyższa o 92 m<sup>3</sup>/h (43%) niż w okresie sterowania statycznego. Wzrost ten spowodowany był zwiększonym

zapotrzebowaniem na wodę przemysłu znajdującego się w tej strefie zasilania. Ilość wody dopływającej do strefy Swarzędz była prawie jednakowa w obu okresach (różnica ok. 2%).

**Tab. 2** Różnice pomiędzy dynamicznym a statycznym sterowaniem ciśnieniem wody

	<b>Sterowanie statyczne</b>	<b>Sterowanie dynamiczne</b>	<b>Różnica</b>
<i>Strefa Poznań</i>			
Przepływ [m <sup>3</sup> /h]	214	306	+43%
Pomp. [kPa]	330	233	-29%
MP1 [kPa]	395	298	-25%
MP2 [kPa]	475	373	-22%
MP3 [kPa]	462	361	-22%
Średnia strefy [kPa]	444	344	-23%
<i>Strefa Swarzędz</i>			
Przepływ [m <sup>3</sup> /h]	261	267	+2%
Wylot [kPa]	279	233	-16%
MP1 [kPa]	470	422	-10%
MP2 [kPa]	516	452	-12%
MP3 [kPa]	439	390	-11%
MP4 [kPa]	365	318	-13%
MP5 [kPa]	329	281	-14%
MP6 [kPa]	381	337	-12%
Średnia strefy [kPa]	417	367	-12%

Zmniejszenie ciśnienia wody w systemie wodociągowym skutkuje zmniejszeniem strat wody na skutek wycieków. Dotychczasowe badania wskazują na liniową zależność pomiędzy wielkością przecieków a ciśnieniem [3].

#### **1.4. Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej**

Na skutek działania oprogramowania optymalizującego sterowanie następuje zmniejszenie zużycia energii elektrycznej związane z następującymi elementami:

2. Oszczędności związane ze sterowaniem przepływem produkcji;
3. Oszczędności związane ze zmniejszonym ciśnieniem na pompach wody czystej;
4. Oszczędności związane ze zmniejszeniem wycieków – strat wody.

Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej na skutek sterowania przepływem produkcji zostało oszacowane na 43500 kWh/rok, ok. 15750 zł/rok. Znacznie większy udział w oszczędnościach energii elektrycznej na SUW Gruszczyń miało zmniejszenie ciśnienia na pompach wody czystej.

Wynikające z tego zmniejszenie zużycia energii elektrycznej obliczono w następujący sposób:



$$dE_{pomp} = \frac{\rho \cdot V \cdot dp}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta} [kWh/rok] \quad (2)$$

gdzie:

$\rho$  = ciężar właściwy wody (=1000 kg/m<sup>3</sup>),

V = objętość przepompowanej wody (5000000 m<sup>3</sup>/rok),

dp = różnica ciśnienia na pompach (97 kPa),

$\eta$  = całkowita sprawność pompy i napędu (ustalono na = 0,60).

W wyniku obliczeń otrzymano 225000 kWh zaoszczędzonej energii elektrycznej w ciągu jednego roku, co oznacza oszczędności rzędu 57000 zł/rok. Zmniejszenie zużycia energii na skutek redukcji strat wody oszacowano ze wzoru:

$$dE_{strat} = dV_{strat} \cdot E_{jedn.,tot} [kWh] \quad (3)$$

gdzie:

$dV_{strat}$  jest różnicą strat wody na sieci obsługiwanej przez SUW Gruszczyń

$E_{jedn.,tot}$  jest jednostkowym zużyciem energii elektrycznej używanej przez cały system wodociągowy SUW Gruszczyń.

Oszacowane na tej podstawie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej wynoszą 68500 kWh, co daje ok. 17000 zł/rok.

**Tab. 3** Oszczędności energii elektrycznej osiągnięte w wyniku wdrożenia systemu zoptymalizowanego sterowania SUW Gruszczyń

	<b>Energia</b> kWh/rok	<b>Koszty</b> zł/rok
1. sterowanie przepływem produkcji	43500	15750
2. niższe ciśnienie na pompach	225000	56910
3. mniejsze straty wody	68500	17640
<b>Razem</b>	<b>337000</b>	<b>90300</b>

Zestawione w powyższej tabeli zmniejszenie zużycia energii elektrycznej odpowiada 11,5% redukcji całkowitego zużycia energii przez SUW Gruszczyń.

## **5. OCENA DZIAŁANIA ZAAWANSOWANEGO STEROWANIA – DOŚWIADCZENIA OPERATORA**

Zarówno od wybudowania i oddania do użytku jak i po przeprowadzonej w latach 2004 ÷ 2007 modernizacji Stacji Uzdatniania Wody Gruszczyń, stacja obsługiwana była przez Maszynistów Stacji Pomp Wodociągowych pracujących przez trzy zmiany w ruchu ciągłym.

W roku 2011 podjęta została decyzja o przygotowaniu obiektu do zarządzania z poziomu Centralnego Systemu Zarządzania zlokalizowanego na terenie Stacji Uzdatniania Wody Wiśniowa oddalonej blisko 17 km od SUW-Gruszczyn.

W trosce o zapewnienie ciągłości dostaw wody na wymaganym i wypracowanym wysokim poziomie podjęto decyzję o stopniowym wprowadzaniu zmian.

W pierwszej kolejności z dniem 01 października 2011 roku zlikwidowano III zmianę, która z uwagi na porę dnia była najbardziej uciążliwa dla Obsługi.

Drugim krokiem była likwidacja II zmiany, którą wprowadzono w dniu 01 marca 2012 roku.

Na likwidację ostatniej zmiany przygotowywano się do końca 2012 roku, by w końcu: 01 stycznia 2013 roku całkowicie sterować i zarządzać Obiektem z poziomu Centralnego Systemu Zarządzania.

Z 18 osób tworzących obsługę Stacji Uzdatniania Wody Gruszczyn pozostało cztery, którzy tworzą Brygadę Utrzymania Obiektów w Ruchu. Zadaniem jej jest kontrola i konserwacja podległych obiektów (w swoich kompetencjach oprócz SUW-Gruszczyn, mają Oni jeszcze sześć mniejszych SUW-ów obsługiwanych dotychczas przez Podmioty Zewnętrzne).

Uzyskane w ten sposób rezerwy kadrowe składające się z Pracowników posiadających duży potencjał z uwagi na wieloletnie doświadczenie oraz posiadane kwalifikacje zostały zagospodarowane w obszarach Spółki, w których panował deficyt kadrowy.

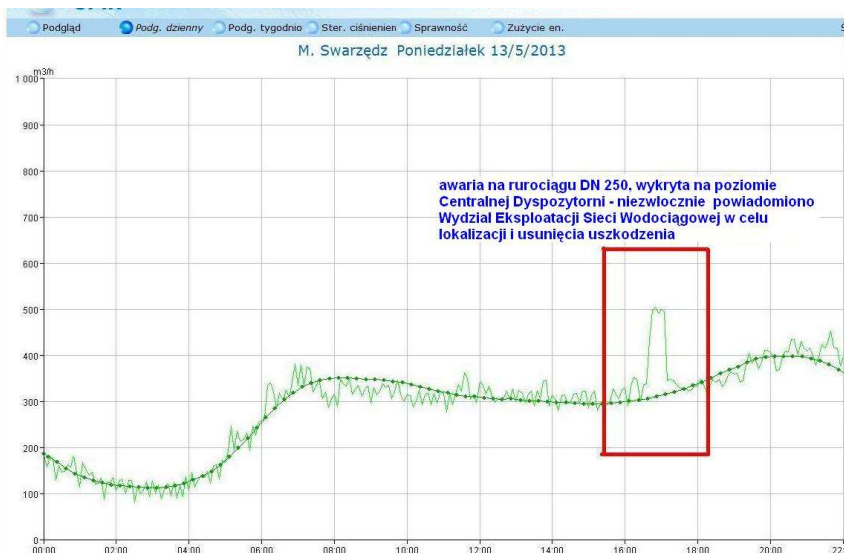
Wprowadzone narzędzie optymalizujące pracę układu produkcji oraz dystrybucji wody niewątpliwie pozytywnie wpłynęło na osiągnięcie zamierzonego celu jakim było pełne zautomatyzowanie trzeciej co do wielkości Stacji Uzdatniania Wody znajdującej się w zasobach Spółki Aquanet S.A..

Cel, który niewątpliwie był bardzo wysoko postawioną „poprzeczką” został osiągnięty.

Obecnie wspólnie z dostawcą modelu OPIR pracujemy nad wykorzystaniem predykcji (prognozy zapotrzebowania na wodę w badanym obszarze), w celu wykorzystania modelu do pracy w strefach zakupu tak zwanej „taniej energii”.

Naszą intencją jest produkcja wody na dotychczas wypracowanym wysokim poziomie z uwzględnieniem stref czasowych wykorzystując prognozę oraz poprzez maksymalne wykorzystanie dostępnej retencji.

Zaimplementowane narzędzie w postaci szczegółowej prognozy zapotrzebowania na wodę, a właściwie jej rozbieżność (różnica pomiędzy prognozą a wykonaniem rzeczywistym), wykorzystujemy do wykrywania awarii na sieci wodociągowej (Rys. 6).



**Rys. 6** Wykorzystanie modelu OPIR do wykrywania awarii na sieci wodociągowej

## 6. PODSUMOWANIE

Wdrożenie na SUW Gruszczyn systemu zaawansowanego sterowania przepływem produkcji wody oraz dynamicznego sterowania ciśnieniem pozwoliło na wyrównanie pracy urządzeń SUW oraz na obniżenie ciśnienia wody w sieci dystrybucyjnej. Wszystko to przełożyło się na konkretne oszczędności związane ze zmniejszonym zużyciem energii elektrycznej i mniejszymi stratami wody. Zainstalowany system OPIR ułatwił także zdalne sterowanie pracą SUW z poziomu Centralnego Systemu Zarządzania oraz pozwala na wczesne wykrywanie awarii na sieci wodociągowej.

Projekt zrealizowany na SUW Gruszczyn pokazuje jak za pomocą kilku dodatkowych informacji z sieci wodociągowej (punkty pomiarowe ciśnienia) w połączeniu z instalacją zaawansowanego oprogramowania sterującego można przeprowadzić optymalizację systemu zaopatrzenia w wodę.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] 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.
- [2] Abdel Meguid H., Skworcow P., Ulanicki B.: Mathematical modeling of a hydraulic controller for PRV flow modulation, Journal of Hydroinformatics 13 (3) s. 374-389, 2011.
- [3] De Paola R., Giugni M., Leakages and pressure relations: an experimental research, Konferencja CCWI, Exeter, 2011.