

Rafał CHORZEPA<sup>1</sup>  
Radosław CIEŚLAK<sup>2</sup>

## WSTĘPNA ANALIZA DANYCH Z PRZEPŁYWOMIERZA WODY UZDATNIONEJ W GMINNEJ STACJI UZDATNIANIA WODY

Ciągły rozwój cywilizacji powoduje nieustanne zwiększanie zagrożeń dla otaczającego środowiska naturalnego. Jednocześnie, zauważa się nieustanne rozwijanie działań nauki związanych z ochroną środowiska i doprowadzaniem go do jak najlepszego stanu. Idea zrównoważonego rozwoju zakłada, że cywilizacja osiągnęła poziom dobrobytu możliwy do utrzymania, pod warunkiem odpowiedniego gospodarowania. Model takiej gospodarki zakłada odpowiednio i świadomie ukształtowane relacje pomiędzy wzrostem gospodarczym a troszczeniem się o środowisko. W celu utrzymania środowiska naturalnego w stanie nienaruszonym obiekty inżynierskie związane z nim muszą spełniać bardzo surowe wymagania dotyczące automatyki i sterowania. Prawidłowe sterowanie obiektami służącymi ochronie naturalnego środowiska (np. oczyszczalniami ścieków, stacjami uzdatniania wody) nie jest możliwe bez zaawansowanych układów pomiarowych mierzących poszczególne parametry procesów technologicznych. Artykuł przedstawia metody analizy danych z przepływomierza wody uzdatnionej z gminnej stacji uzdatniania wody (SUW). Każda tego typu stacja uzdatniania swoją wydajność produkcji musi dostosować do aktualnego zapotrzebowania na wodę przez jej konsumentów. Analiza tego zapotrzebowania stanowi problem dla układów sterowania SUW z powodu bardzo dużej nierównomierności zapotrzebowania. Istnieją okresy dobowe, gdzie zapotrzebowanie wzrasta gwałtownie, są też takie gdzie jest minimalne. Dodatkowo układ sterowania musi odrzucić wszelkie zakłócenia w torze pomiarowym oraz przetwarzania sygnału. Autorzy podjęli próbę zbadania okresowości, stacjonarności i normalności sygnału stochastycznego przepływu wody uzdatnionej w wybranych okresach. Przeanalizowano wyniki i zaproponowano na ich podstawie sprawne sterowanie SUW.

**Słowa kluczowe:** SUW, przepływ, okresowość, stacjonarność, normalność, pomiary, sterowanie

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Rafał Chorzępa, Politechnika Rzeszowska, Katedra Metrologii i Systemów Diagnostycznych, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel:791 186 003, chorzepa.rafal@gmail.com

<sup>2</sup> Radosław Cieślak, Politechnika Rzeszowska, Katedra Metrologii i Systemów Diagnostycznych, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, radcie@vp.pl

## 1. Wstęp

Człowiek wielokrotnie negatywnie ingeruje w środowisko. Jednym z takich aspektów działalności człowieka jest zanieczyszczanie wód. W celu zmienienia postaw społeczeństw na prozdrowotno-ekologiczne tworzone są programy, w ramach których prowadzone są działania edukacyjne. Z kształtowaniem postaw pojawiają się rozwiązania gospodarcze ukierunkowane na ekologię. Przykładem obiektów infrastruktury, które dbają o przyrodę a tym samym o nasze zdrowie są stacje uzdatniania wody (SUW) lub oczyszczalnie ścieków. Poszczególne parametry jakościowe i ilościowe wody w ciągu technologicznego stacji uzdatniania wody muszą być poprawnie mierzone i w wyniku sterowania utrzymywane na właściwym poziomie. W celu mierzenia parametrów SUW stosuje się wysokiej jakości przyrządy pomiarowe. Dzięki prawidłowo wykonanym pomiarom i analizom ich wyników można postawić właściwe wnioski odnośnie układów sterowania i automatyki SUW. Autorzy podjęli taką próbę.

## 2. Aparatura pomiarowa

Aparaturę pomiarową na stacji uzdatniania wody możemy podzielić na:

- urządzenia do pomiaru wielkości fizycznych
- urządzenia do pomiaru wielkości fizyko-chemicznych

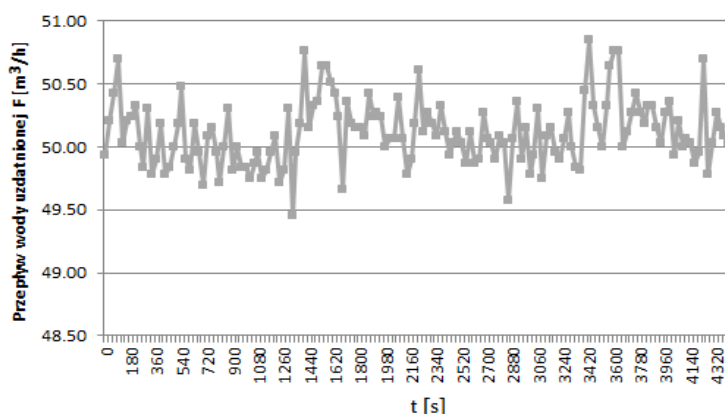
Do wielkości fizycznych, które najczęściej mierzymy na SUW zaliczamy: przepływ, ciśnienie i poziom, natomiast do pomiarów wielkości fizyko-chemicznych zaliczamy m.in. odczyn pH, mętność, stężenie chloru, tlenu rozpuszczonego, stężenie różnego rodzaju rozpuszczonych pierwiastków w wodzie np. żelaza, manganu. [1] [2]

Podczas budowy lub modernizacji stacji uzdatniania wody wykonawca zazwyczaj montuje dostępną na rynku aparaturę pomiarową renomowanych producentów. W przypadku bardziej skomplikowanych urządzeń pomiarowych (np. przepływomierza, mętnościomierza lub innych wielkości fizykochemicznych) układ pomiarowy składa się z czujnika i dedykowanego przetwornika pomiarowego; jedynie w przypadku prostych pomiarów np. ciśnienia, poziomu lub temperatury czujniki i przetwornik umieszczone są najczęściej w jednej obudowie. Przetworniki pomiarowe nowoczesnych aparatów pomiarowych są urządzeniami mikroprocesorowymi, z wyświetlaczem i przyciskami służącymi do programowania. Za pomocą klawiatury, wybiera się w menu przetwornika odpowiednie parametry i ustawia jego pracę w interesujący operatora sposób. Na wyjściu przetworników pomiarowych do wyboru jest zwykle jeden ze standardowych sygnałów napięciowych lub prądowych stosowanych w automatyce (0-10V, 2-10V, 0-20 mA, 4-20 mA) lub coraz częściej są wykorzystywane sygnały w postaci cyfrowej np. Profibus, Modbus, Can itp. [3] [4]

### 3. Analiza wyników pomiarów

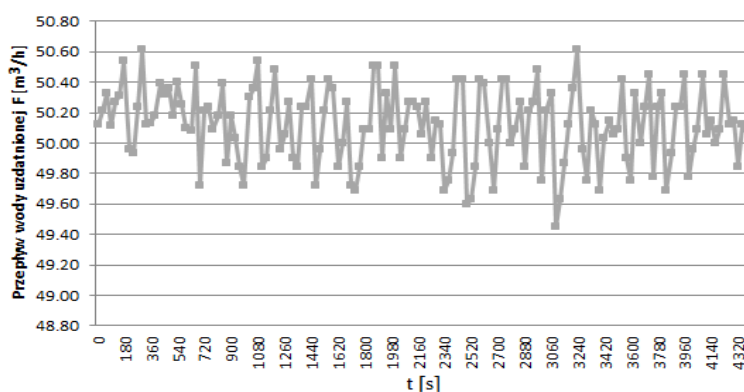
#### 3.1. Sygnały charakteryzujące przepływ

Analiza została przeprowadzona przy największym zapotrzebowaniu na wodę uzdatnianą. Na poniższym wykresie przedstawiono wyniki pomiarów, gdy załączono trzy (rys. 1.) i cztery pompy (rys.2). W celu przeprowadzenia testów sygnał został próbkowany. Próbki odczytywano co 30 sekund. Każdy z tych sygnałów składa się z 148 próbek.



Rys. 1. Spróbkowany przebieg przepływu uzdatnionej wody przy załączonych trzech pompach.

Fig. 1. Sampled trace the flow of treated water with enabled three pumps.



Rys. 2. Spróbkowany przebieg przepływu uzdatnionej wody po załączeniu czterech pomp.

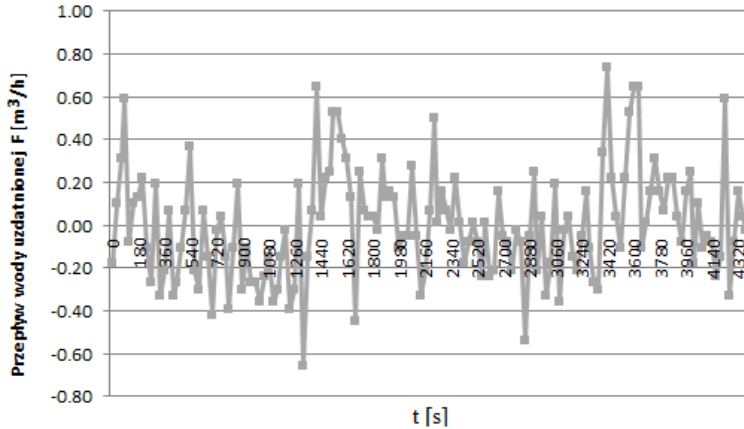
Fig. 2. Sampled trace the flow of treated water with enabled four pumps.

Przed przeprowadzeniem sprawdzenia czy powyższe przebiegi sygnałów są okresowe, czy stacjonarne, czy normalne dokonano ich centrowania.

### 3.2. Centrowanie sygnału

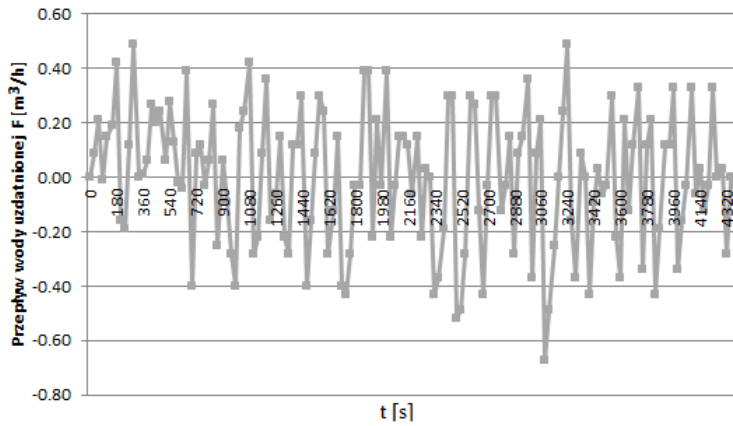
Przebiegi sygnałów przedstawione na rys.1 i rys.2 posiadają składową stałą. W celu jej usunięcia wykonano operację tzw. centrowania sygnału. Operacja ta polega na odejmowaniu wartości średniej całego sygnału o wartości poszczególnych próbek. [1] [2]

Wartość średnia dla przebiegu procesu z rys.1 wynosi  $50,1109[m^3/h]$  a dla przebiegu przepływu z rys.2 równa się  $50,1206[m^3/h]$ . Poniżej przedstawiono sygnały z usuniętą składową stałą (rys.3 i rys.4).



Rys. 3. Scentrowany spróbkowany przebieg przepływu uzdatnionej wody po załączeniu trzech pomp.

Fig. 3. Centred sampled trace the flow of treated water with enabled tree pumps.



Rys. 4. Scentrowany spróbkowany przebieg przepływu uzdatnionej wody po załączeniu czterech pomp.

Fig. 4. Centred sampled trace the flow of treated water with enabled four pumps.

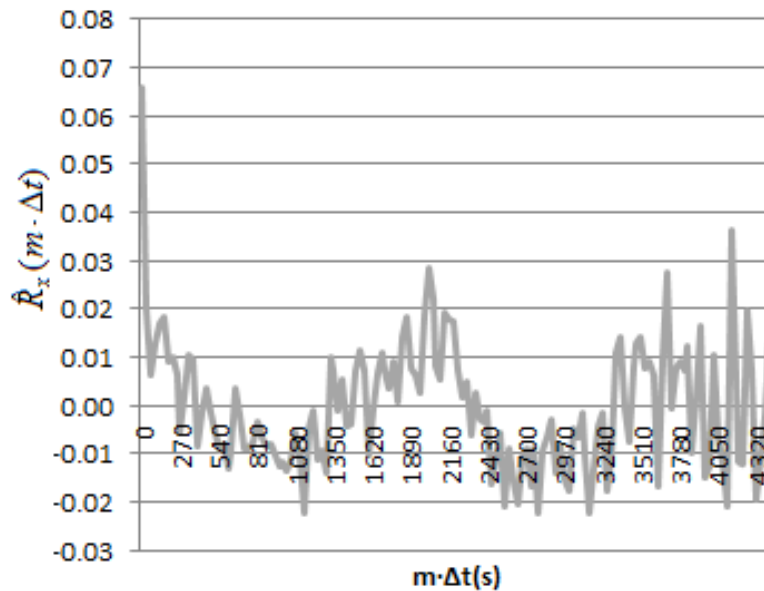
### 3.3. Analiza okresowości

Sprawdzanie okresowości bądź losowości sygnału przeprowadzono dzięki obliczeniu estymatora autokorelacji (1). [1] [2]

$$\hat{R}_x(m \cdot \Delta t) \approx \frac{1}{n-m} \cdot \sum_{k=0}^{n-m} x_k \cdot x_{k+m}, \quad m = 0,1,2,3,\dots,M \quad (1)$$

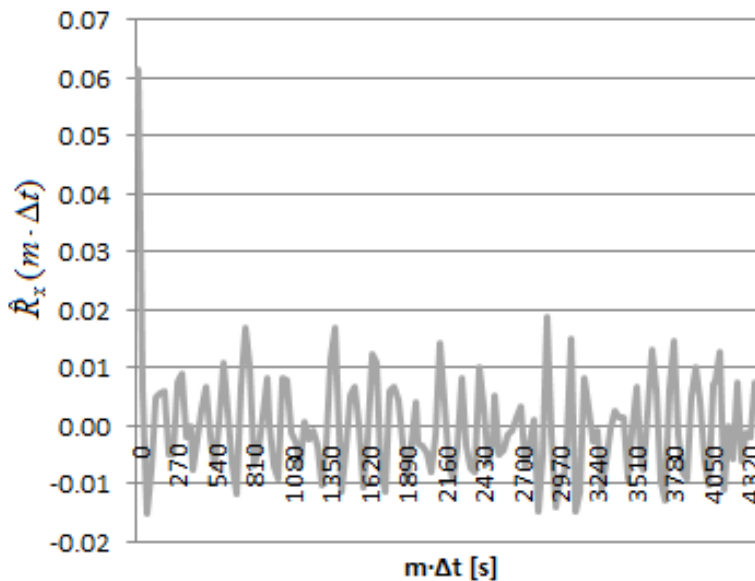
gdzie:  $m \cdot \Delta t$  – przesunięcie,  
 $n$  – maksymalna liczba próbek,  
 $m$  – liczba opóźnień jednostkowych,  
 $M$  – maksymalna liczba opóźnień jednostkowych.

Przeprowadzone obliczenia pokazano na poniższych autokorelogramach (rys. 5 i rys. 6). Na podstawie testu okresowości stwierdzono, że badany przebieg sygnału po załączeniu trzech pomp jest losowy i zawiera elementy okresowości (rys. 5), a przebieg przepływu po załączeniu czterech pomp jest losowy (rys.6).



Rys. 5. Autokorelogram poboru uzdatnionej wody przy załączeniu trzech pomp

Fig. 5. Graph of correlation consumption of water treated at enabled three pumps



Rys. 6. Autokorelogram poboru wody uzdatnionej podczas użycia czterech pomp

Fig. 6. Graph of correlation consumption of treated water at enabled four pumps.

### 3.4. Analiza stacjonarności

Testy stacjonarności pozwalają stwierdzić czy parametry statystyczne badanych sygnałów (procesów) losowych są stałe w czasie. Spośród procesów stochastycznych wyodrębnia się: sygnały ściśle lub słabo stacjonarne. [1] [2]

Pierwsze z nich to sygnały (procesy) o stałym rozkładzie prawdopodobieństwa dowolnego rzędu, czyli:

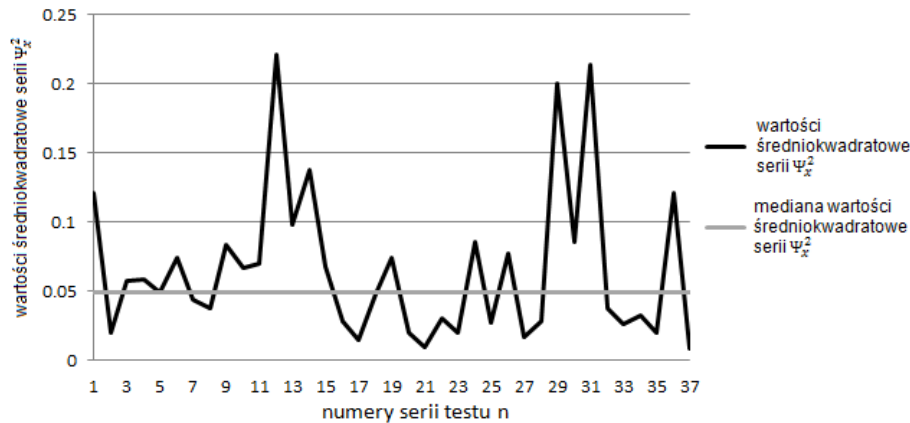
$$p(x_1, t_1; \dots; x_n, t_n) = p(x_1, t_1 + \tau; \dots; x_n, t_n + \tau) \quad (2)$$

co oznacza, że wybór  $\tau, t_1, \dots, t_n$  nie powoduje zmian w funkcji rozkładu. [1] [2]

Słabo stacjonarne to procesy, których wartości średnie i wariancje nie ulegają zmianom w czasie. Autokowariancja takich sygnałów zależy od  $\tau = t_1 - t_2$ . [1] [2]

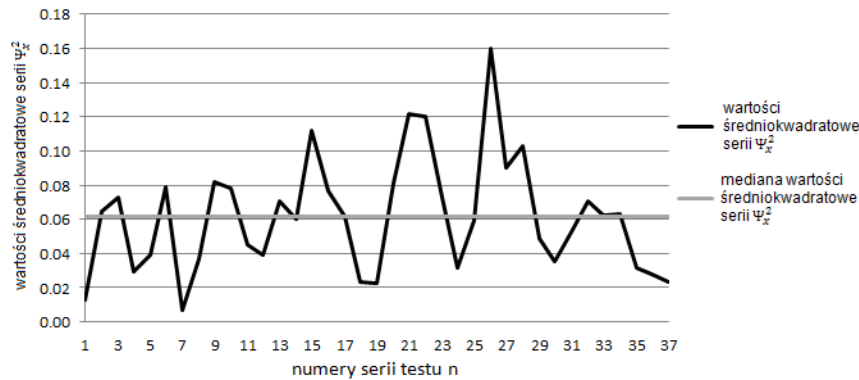
Sprawdzanie stacjonarności przeprowadzono dzięki nieparametrycznej analizie próby [1]. W celu przeprowadzenia tego testu podzielono sygnał na równe niezależne serie. Każda z nich zawierała cztery wartości. Sprawdzanym parametrem była wartość średniokwadratowa próbek przebiegów sygnałów przedstawionych na rys.3 i rys.4. Test przeprowadzono przy istotności  $\alpha = 0.05$ .

Poniżej przedstawiono wykresy z analizy stacjonarności (rys.7 i rys.8).



Rys. 7. Test stacjonarności dla sygnału otrzymanego przy użyciu trzech pomp.

Fig. 7. Stationarity test for the signal obtained with the work of three pumps.



Rys. 8. Test stacjonarności dla sygnału otrzymanego przy użyciu czterech pomp.

Fig. 8. Stationarity test for the signal obtained with the work of four pumps.

Powyższe wykresy pokazują, że poszczególne moce sygnału różnią się od mediany wartości średniokwadratowej. Dodatkowo sprawdzono czy zakres przyjęcia hipotezy jest pomiędzy przedziałami wartości kwantyli  $r$  rozkładu  $1-\alpha$  takimi, jak: 12 i 25. Wartość kwantyli  $r$  przeprowadzonego testu wynosiły dla

- przebiegu sygnału po włączeniu trzech pomp: 18,
- przebiegu przepływu przy uruchomionych czterech pompach: 17.

Na podstawie powyższej analizy można stwierdzić, że badane sygnały są stacjonarne.

### 3.5. Analiza normalności

W celu sprawdzenia rozkładu przebiegów sygnałów przeprowadzono test normalności. Analizę tą przeprowadzono według poniższej kolejności:

- obliczono szerokości przedziałów  $h$  [5]:

$$h = \frac{R}{k} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,322 \cdot \log(n)} \quad (3)$$

gdzie:  $R$  – rozstęp,

$k$  – liczba przedziałów (klas),

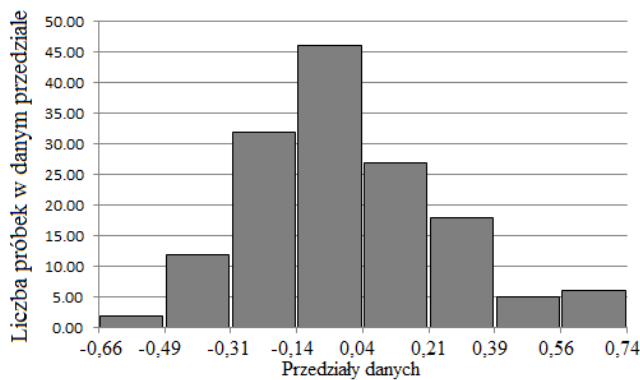
$x_{\max}$  – wartość maksymalna wyników badań,

$x_{\min}$  – minimalna wartość wyników pomiarów,

$n$  – liczba wszystkich pomiarów.

- wartości wyników pomiarów segregowano od najmniejszej do największej wartości w celu łatwiejszego przydzielania ich do poszczególnych przedziałów.

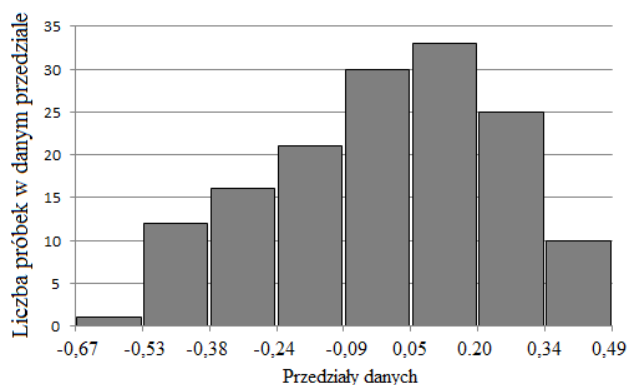
Na rysunkach (rys. 9 i rys. 10) przedstawiono, za pomocą histogramu, wyniki analizy normalności. Histogram jest przybliżeniem rozkładu prawdopodobieństwa.



Rys. 9. Test normalności dla sygnału otrzymanego przy użyciu trzech pomp

Fig. 9. Normality test for the signal obtained with the work of three pumps





Rys. 10. Analiza normalności dla sygnału otrzymanego przy użyciu czterech pomp.

Fig. 10. Normality test for the signal obtained with the work of four pumps.

Powyższa analiza rozkładu pozwoliła stwierdzić, że badane przebiegi sygnałów są quasinormalne, ponieważ posiadają kolumnę dominującą, ale wysokości sąsiadujących z nią dwóch kolumn nie są jednakowe. Aby to był sygnał Gaussowski to musiałyby występować wierzchołek a mniejsze kolumny musiałyby być symetryczne względem siebie.

#### 4. Podsumowanie

Badane sygnały występujące w układach pomiarów i automatyki stacji uzdatniania wody są sygnałami stochastycznymi. Sprawdzane sygnały posiadają rozkłady quasinormalne. Takie sygnały można w analizach opisywać w przybliżeniu jak sygnały Gaussowskie.

Poniżej przedstawiono propozycje sterowania z wykorzystaniem badanego sygnału:

- sygnał z przepływomierza wody uzdatnionej mógłby służyć jako informacja o zmienności w czasie zapotrzebowania na wodę przez jej odbiorców
- analizując w długim przedziale czasowym różnicę pomiędzy ilością wody uzdatnionej i ilością wody surowej pobranej ze studni należałoby ocenić średnią ilość wody wykorzystanej do procesu uzdatniania np. na potrzeby płukania filtrów (kilka – kilkanaście procent).
- wykorzystując przepływomierz wody surowej należałoby tak sterować pracą pomp wody surowej, aby wydajność pompownia była zawsze większa od ilości wody uzdatnionej o wartość wody traconej na potrzeby SUW.
- chwilowe różnice pomiędzy zapotrzebowaniem na wodę uzdatnioną, a wodą pompowaną byłyby rekompensowane poprzez pojemność zbiorników wody uzdatnionej.

Sygnały pobierane z SUW wymagają dalszej analizy. Autorzy uważają, że oprócz przeprowadzonych testów zasadne byłoby przeprowadzenie analizy regresji i korelacji.

## Literatura

- [1] Bendat J. S., Piersol A. G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
- [2] Hase L., Spiralski L.: Szumy elementów i układów elektronicznych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1981
- [3] Tchórzewska-Cieślak B., Cieślak R.: Sterowanie i wizualizacja pracy podsystemu ujmowania i pompowania wody, Ośrodek Informacji "Technika Instalacyjna w Budownictwie", Instal, z.5 , 2008, s.38-41.
- [4] Rak J., Cieślak R.: Elementy zdalnego zarządzania systemem zaopatrzenia w wodę. Ośrodek Informacji "Technika Instalacyjna w Budownictwie", Instal, z.11, 2004, s.21-25,
- [5] Jezierski W., Kosior-Kazobur M.: Współczynnik przewodzenia ciepła zasolonych materiałów ściennych. Przegląd Budowlany, nr 6/2008, s.38-41.

## ANALYSIS OF DATA FROM RAW WATER FLOW METER IN LOCAL TREATMENT WATER STATION

### Summary

The continuous evolution of civilization causes increase the risks of natural environment. Simultaneously, notice to be continually progress environmental science connected with protection of environment, and bringing him to the best state. The idea of balanced evolution implies that civilization has reached level of prosperity tenable, provided appropriate management. This model economic assumes suitably and consciously shaped relationship between economic growth, and care about environment. In destination keeping natural environment intact, engineering objects must fulfill strict requirements for automation and control. Proper control object for the protection natural environment (on example: sewage treatment plants, water treatment plants) is not possible without the advanced measurement systems measure various parameters of technological process. This article present methods analysis of data from the raw water flow meter from local Water Treatment Plant (WTP). Every such treatment plant their productivity must to adapt to the current water demand by the consumers. The analyses of this demand is a problem to control systems WTP due to the large diversity of demand. There are daily periods where demand is increasing rapidly, there are also those where it is minimal. The authors have attempted to examine the periodicity, stationarity and the normality of the flow of the treated water during certain time periods. We analyzed the results and proposed effective control of water treatment plants.

**Keywords:** WTP, flow, periodicity, stationary, normality, measurements, steering

DOI: 10.7862/re.2013.5

*Tekst złożono w redakcji:* listopad 2013

*Przyjęto do druku:* grudzień 2013