

Krzysztof BORYCZKO
Politechnika Rzeszowska

ZASTOSOWANIE METODY ARIMA W PROGNOZOWANIU LICZBY USZKODZEŃ PRZEWODÓW SIECI WODOCIĄGOWYCH NA TERENIE RZESZOWA

Prognozowanie przyszłych wydatków eksploatacyjnych jest kwestią kluczową w budżecie eksploatatora systemu zaopatrzenia w wodę (SZW). Prognozy pozwalają sporządzić plany przyszłych remontów. Celem pracy jest przedstawienie metody prognozowania liczby uszkodzeń przewodów wodociągowych Rzeszowa w latach 2000-2007. Prognozy wykonano z wykorzystaniem modelu ARIMA z pakietu STATISTICA 8.0.

Wstęp

Eksploatacja każdego systemu technicznego powinna być oparta na rachunku ekonomicznym oraz prognozowaniu stanów poszczególnych obiektów przy zmiennych w czasie czynnikach zewnętrznych [8]. Dodatkowo należy mieć narzędzia pozwalające na klasyfikację oraz grupowanie stanów poszczególnych obiektów [1]. Prognozowanie liczby uszkodzeń sieci wodociągowej jest ważną kwestią dla eksploatatora systemu zaopatrzenia w wodę (SZW). Prognozowanie to wnioskowanie o przyszłym stanie elementu na podstawie obserwacji jego wcześniejszych zachowań. Zastosowanie tej metody w podsystemie dystrybucji wody (PsDyW) polega na dostarczeniu informacji o niezawodności przewodów wodociągowych, w celu zaplanowania sprawnego zarządzania m.in. remontami, modernizacjami, przebudowami. Znajomość i możliwość prognozowania wskaźników uszkodzeń przewodów jest konieczna do opracowania strategii odnowy sieci wodociągowej [3]. Eksploatatorzy SZW powinni pamiętać o konieczności stosowania strategii wskaźnika remontu rzędu 2% długości sieci wodociągowej [5, 6].

Strukturę większości szeregów czasowych można opisać za pomocą dwóch podstawowych składników: trendu i sezonowości. Trend reprezentuje składnik liniowy bądź częściowo nieliniowy, który opisuje ogólny kierunek rozwoju zjawiska, np. dla PsDyW reprezentuje sukcesywny spadek liczby awarii, związany ze

wzmocnionym procesem wymiany przewodów na nowe. Sezonowość może mieć podobną to trendu naturę (np. okres stabilizacji, po którym następuje wzrost), jednak powtarza się w systematycznych odcinkach czasu. Zmienność sezonową (sezonowość) definiuje się jako zależność korelacyjną rzędu k między i -tym elementem szeregu a $i+k$ -tym elementem i mierzy za pomocą autokorelacji (tzn. korelacji między tymi dwoma składnikami); k jest określane zwykle jako opóźnienie. Jeśli błąd pomiaru nie jest zbyt duży, sezonowość w szeregu można zidentyfikować wizualnie jako wzorzec, który powtarza się co k elementów.

Celem pracy jest wyznaczenie prognoz liczby uszkodzeń przewodów wodociągowych Rzeszowa. Zakres pracy obejmuje analizę uszkodzeń w latach 2000-2007. Prognozy przygotowano z wykorzystaniem modelu ARIMA z pakietu STATISTICA 8.0.

Charakterystyka podsystemu dystrybucji wody w Rzeszowie

Rzeszów jest zaopatrywany w wodę z wodociągu eksploatowanego przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji (MPWiK) w Rzeszowie. Woda na potrzeby miasta jest pobierana za pomocą ujęć powierzchniowych: typu brzegowego (Zwięczyca I) i nurtowego (Zwięczyca II). Woda do odbiorców jest doprowadzana siecią wodociągową o łącznej długości 820 km, z czego:

- 49,5 km stanowią przewody magistralne,
- 447,7 km stanowi sieć rozdzielcza,
- 322,8 km stanowią podłączenia domowe.

Rzeszowska sieć wodociągowa jest wykonana w 25% z żeliwa, w 24% z PE, w 11% ze stali, w 10% z PVC, w 1% z AC, w 29% ze stali ocynkowanej (podłączenia do budynków). Sieć wodociągowa Rzeszowa charakteryzuje się następującymi średnicami przewodów: magistralna – (1200-150) mm, sieć rozdzielcza – (100-40) mm, podłączenia domowe (110-20) mm. Z układem sieci wodociągowej współpracują dwa zespoły zbiorników wodociągowych usytuowane we wschodniej (zbiorniki na osiedlu Pobitno) i zachodniej (zbiorniki na osiedlu Baranówka) części miasta.

Prognozowanie na podstawie szeregów czasowych metodą ARIMA

Metoda ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) – rozwinięta przez Boxa i Jenkinsa w 1976 r., służy do generowania prognoz na podstawie szeregów czasowych [2]. Stworzony przez nich ogólny model zawiera zarówno parametry autoregresyjne, jak i średniej ruchomej oraz wprowadza operator różnicowania do postaci modelu. W szczególności, w modelu wyróżnia się trzy typy parametrów: parametry autoregresyjne (p), rząd różnicowania (d) oraz parametry średniej ruchomej (q). Według notacji wprowadzonej przez Boxa i Jen-

kinsa, modele określa się jako ARIMA (p, d, q), a więc na przykład opisanie modelu jako (0, 1, 2) oznacza, że zawiera on 0 (zero) parametrów autoregresyjnych (p) i 2 parametry średniej ruchomej (q), które zostały obliczone dla szeregu po jednokrotnym różnicowaniu. Wymaga się, by wejściowy szereg dla metody ARIMA był stacjonarny, to znaczy, powinien on mieć stałą w czasie średnią, wariancję i autokorelację.

Prognozowanie liczby uszkodzeń przewodów wodociągowych Rzeszowa

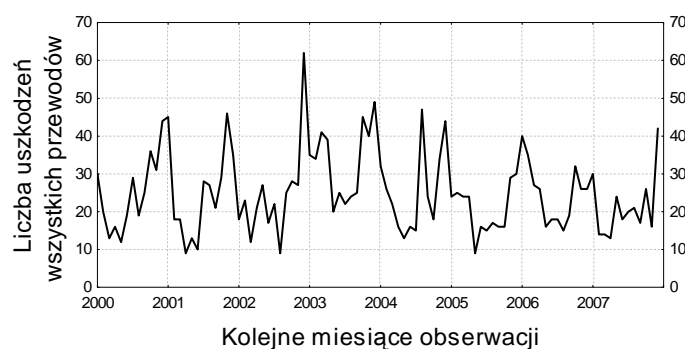
Za przyczyny awarii sieci wodociągowej podaje się [4, 7]:

- przyczyny fizyczne pochodzenia geologicznego, konstrukcyjno-eksploatacyjnego (niedbała budowa przewodów i konserwacja armatury, nadmierne ciśnienie i jego duże wahania, uderzenia hydrauliczne), wynikające ze zjawisk naturalnych, takich jak ruchy tektoniczne ziemi, ulewne deszcze, gwałtowna zmiana warunków atmosferycznych, oraz nieprecyzyjnego prowadzenia robót ziemnych w pobliżu przewodów wodociągowych,
- przyczyny chemiczne (korozja pochodzenia gruntowego, korozje pochodzenia elektrochemicznego spowodowane prądami błędzącymi).

Dla przewodów wodociągowych Rzeszowa wykonano trzy prognozy dwunastomiesięczne:

- sumarycznej liczby uszkodzeń przewodów magistralnych, rozdzielczych i połączeń domowych,
- liczby uszkodzeń przewodów magistralnych,
- liczby uszkodzeń przewodów rozdzielczych.

Dane o liczbie awarii wszystkich przewodów przedstawiono na rys. 1.:

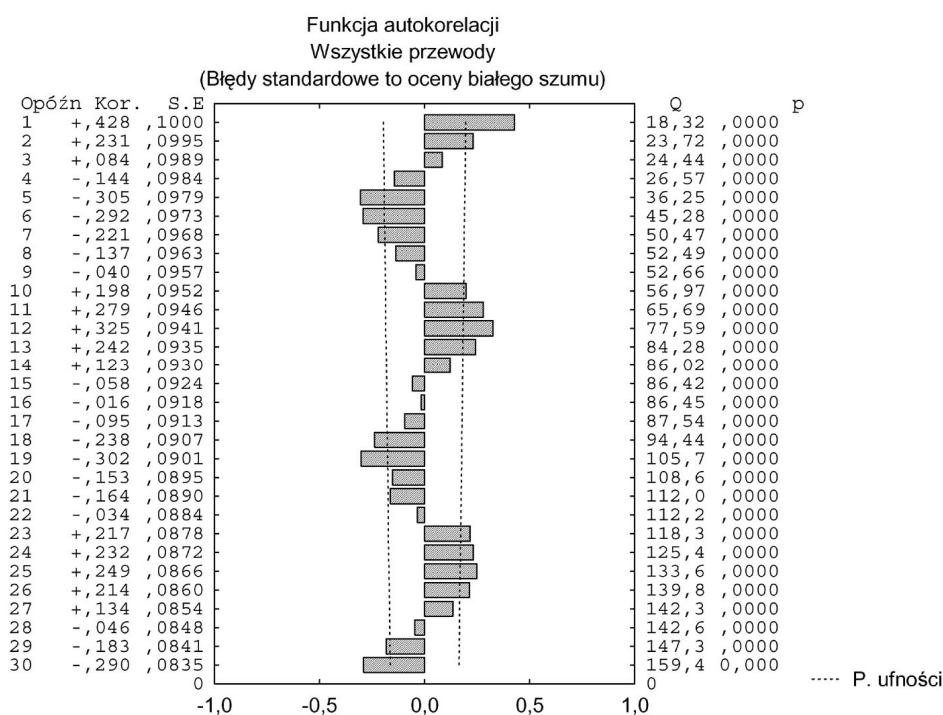


Rys. 1. Wykres zmian miesięcznych liczb uszkodzeń PsDyW w latach 2000-2007 w Rzeszowie

Na rysunku 1. można zauważyć że:

- występuje sezonowość awarii,
- w początkowych miesiącach roku liczba awarii maleje, by osiągnąć minimum przeważnie w pierwszych miesiącach wiosny,
- awarie sieci wodociągowej występują najliczniej w ostatnich miesiącach roku (głównie w październiku, listopadzie, grudniu).

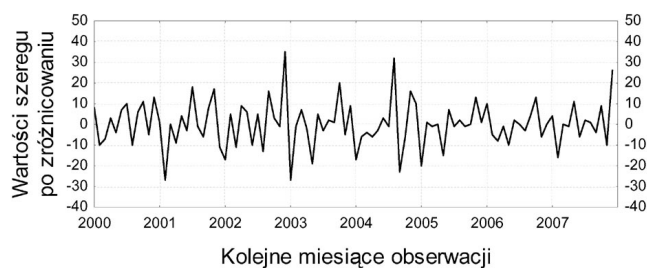
Na rys. 2. przedstawiono autokorelogram badanego szeregu czasowego. Na wykresie tym jest przedstawiona graficznie i liczbowo funkcja autokorelacji, to znaczy współczynniki autokorelacji (i ich błędy standardowe) dla kolejnych opóźnień w określonym zakresie opóźnień. Na zaprezentowanym wykresie zakres opóźnień wynosi od 1 do 30.



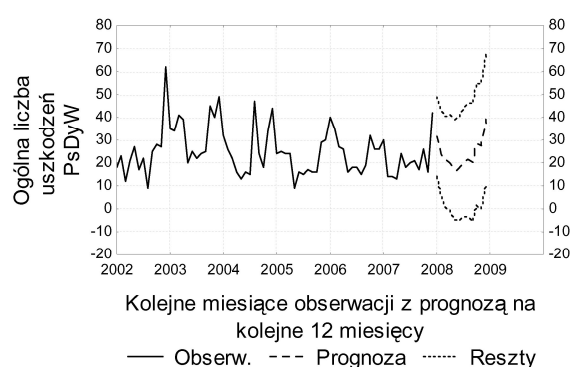
Rys. 2. Wykres funkcji autokorelacji danych dla analizy wszystkich rodzajów przewodów wodociągowych Rzeszowa

Zaobserwowano związki autokorelacyjne w szeregu (rys. 2.), zatem należało doprowadzić go do stacjonarności za pomocą różnicowania. Na rys. 3. przedstawiono szereg po pierwszym różnicowaniu. Jako że dane mają charakter sezonowy, wprowadzono także opóźnienie sezonowe równe 12.

Model, który charakteryzuje się najlepszym dopasowaniem, ma następujące parametry: ARIMA (p,d,q) (P,D,Q) – ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂. Wyniki prognozy dla kolejnych 12 miesięcy przedstawiono na rys. 4.

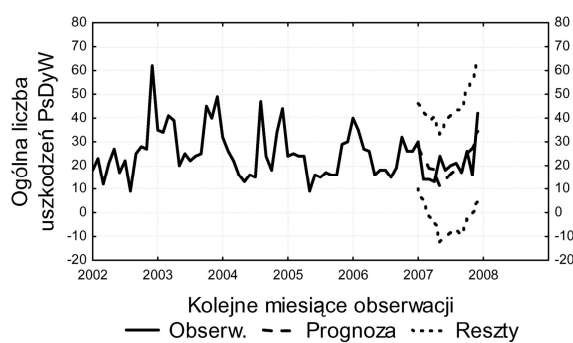


Rys. 3. Zestawienie danych po pierwszym zróżnicowaniu



Rys. 4. Prognoza liczby uszkodzeń przewodów wodociągowych na 12 miesięcy w przód

Dla sprawdzenia poprawności zastosowanego modelu sporządzono wykres prognozy dla ostatnich 12 obserwacji (styczeń 2007 – grudzień 2007). Wyniki zaprezentowano na rys. 5.



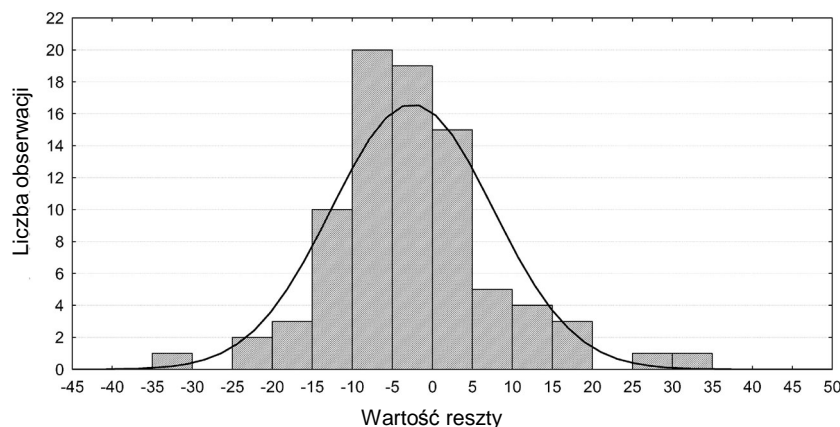
Rys. 5. Prognoza liczby uszkodzeń przewodów wodociągowych w porównaniu z obserwacjami z roku 2007

Porównując obserwacje liczby awarii z wyznaczoną prognozą dla okresu styczeń 2007 – grudzień 2007, można stwierdzić, że:

- prognoza dość wiernie oddaje kształt szeregu obserwacji,
- minimalna liczba awarii z prognozy wypada w kwietniu, natomiast z obserwacji wypada w marcu, jest więc to różnica na poziomie akceptowalnym,
- różnice w okresie wiosenno-letnim wynikają z niespotykanej liczby awarii w tym okresie w latach poprzedzających,
- pod koniec roku prognoza wskazuje znaczny wzrost liczby awarii, co pokrywa się z obserwacjami.

Ogólnie można zaobserwować, że zastosowany model ARIMA dobrze pasuje do szeregu, a wartości obserwowane mieszczą się w przedziale ufności wartości przewidywanych.

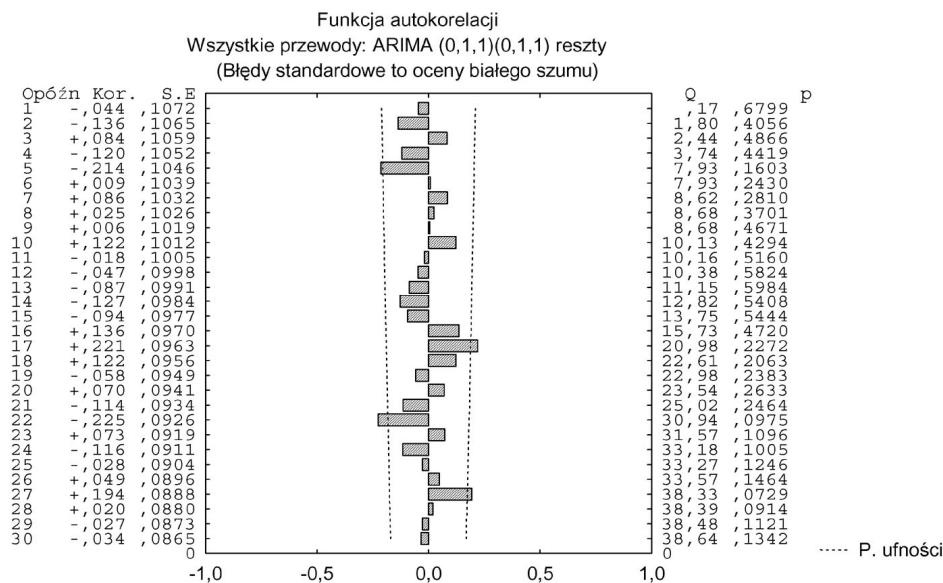
Dodatkowo istnieją techniki diagnostyczne sprawdzające poprawność modelu. Pierwsze założenie – o normalnym rozkładzie reszt – można testować za pomocą wykresów normalności, jak również za pomocą histogramu reszt (rys. 6.).



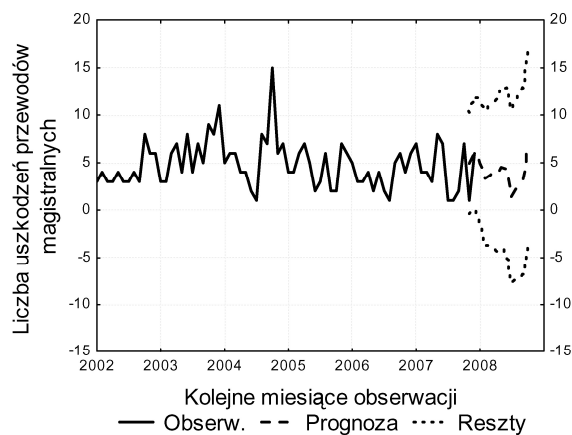
Rys. 6 Histogram rozkładu reszt

Drugie założenie analizy ARIMA, że reszty są od siebie niezależne, sprawdzono za pomocą wykresu funkcji autokorelacji (rys. 7.)

Na wykresie (rys. 7.) widać wyraźnie, że po dopasowaniu modelu ARIMA do danych reszty praktycznie nie mają żadnej autokorelacji. Dlatego przyjęto, że warunek niezależności reszt także jest spełniony. Dalej zaprezentowano wyniki prognoz dla przewodów magistralnych (rys. 8.) i rozdzielczych (rys. 9.), wykonane również za pomocą metody ARIMA.



Rys. 7. Funkcja autokorelacji reszt

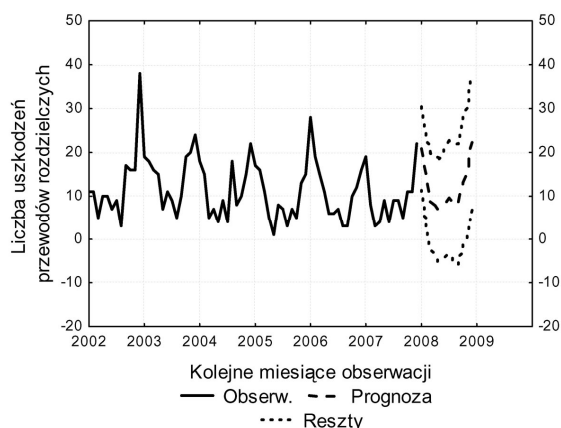


Rys. 8. Prognoza liczby awarii przewodów magistralnych

Podsumowanie

- Na podstawie analizy szeregów czasowych opracowano prognozy liczby uszkodzeń sieci wodociągowej Rzeszowa. Do tego celu wykorzystano metodę ARIMA.
- Metoda ta stwarza możliwości sporządzenia planów gotowości operacyjnej służb remontowo-naprawczych.
- Na podstawie trendu awaryjności przewodów można stwierdzić, że ogólna ich liczba spada.

- Prognozy pozwalają ocenić plany przyszłych remontów i wydatków finansowych związanych z awariami.



Rys. 9. Prognoza liczby awarii przewodów rozdzielczych

Literatura

- [1] Boryczko K.: Analiza taksonomiczna intensywności uszkodzeń sieci wodociągowych. Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody. Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, Gliwice 2009.
- [2] Box G.E.P., Jenkins G.M.: Analiza szeregów czasowych. Prognozowanie i sterowanie. PWN, Warszawa 1983.
- [3] Hotłoś H.: Analiza kosztów naprawy uszkodzeń przewodów wodociągowych we Wrocławiu. Ochrona Środowiska, nr 2/2005, PZITS, 2005, 37-43.
- [4] Hotłoś H.: Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [5] Rak J.: O potrzebie remontów sieci wodociągowej Rzeszowa. Kwartalnik Techniczny Armatura i Rurociągi, z. 3, 2003. Wydawnictwo PNT CIBET, Warszawa, 106-108.
- [6] Rak J.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 28, Wydawnictwo – Drukarnia LIBER DUO KOLOR, Lublin 2005.
- [7] Rak J., Tunia A.: Awaryjność sieci wodociągowej. Ogólnopolska Konferencja nt. „Bezpieczeństwo i niezawodność działania systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych i centralnego ogrzewania”. PZITS O/Kraków, Zakopane 1997, 219-227.
- [8] Siwoń Z., Łomotowski J., Cieżak W., Licznar P., Cieżak J.: Analizy i prognozowanie rozbiorów wody w systemach wodociągowych. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2008.

**APPLICATION OF ARIMA METHOD IN FAILURE NUMBER
PROGNOSTICATION OF WATER NETWORK PIPES FOR RZESZOW****S u m m a r y**

Prognostication of future exploitative costs is key issue for water supply system (WSS) exploiter's budget. Prognostications allows to create future repair plans. The aim of this paper is to present method in failure number prognostication of water-network pipes for Rzeszow in years 2000-2007. Prognostication was made using ARIMA model from STATISTICA 8.0 software.

Złożono w redakcji w grudniu 2009 r.