

Jadwiga KRÓLIKOWSKA¹, Andrzej KRÓLIKOWSKI²

¹Politechnika Krakowska
Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Kraków

²Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania
Wydział Ekologii
Warszawa

DWUPARAMETRYCZNA OCENA NIEZAWODNOŚCI PODSYSTEMU SIECI KANALIZACYJNEJ ZA POMOCAJ METODY MP+F

THE TWO-PARAMETER RELIABILITY ASSESSMENT OF SEWER
SYSTEMS, USING MP+F METHOD

The two-parameter method used for reliability assessment of complicated technical systems is presented in this paper. This method is based on damages frequency and was described in theory and practice example.

1. Wprowadzenie

Z każdą działalnością człowieka nieodzownie związane jest ryzyko wystąpienia niepożądanych zdarzeń zagrażających zdrowiu czy życiu człowieka oraz jego otoczeniu jak również powodujących straty materialne. Ryzyko to rozumiane jest jako prawdopodobieństwo wystąpienia tych niepożądanych zdarzeń. Obszarem niniejszych rozważań jest działalność związana z odprowadzeniem ścieków z terenu kanalizowanego a zdarzenia to uszkodzenia występujące w obrębie sieci kanalizacyjnej.

Na ryzyko uszkodzeń sieci kanalizacyjnej składa się szereg czynników:

- ✓ błędy projektowe,
- ✓ błędy na etapie wykonawstwa,
- ✓ jakość użytych materiałów,
- ✓ specyfika kanalizacji (m.in.: znaczny obszar obsługiwany, znaczne wahania parametrów pracy sieci, niemożność stosowania rezerwowych kanałów, trudna wykrywalność awarii itp.),
- ✓ niewłaściwa eksploatacja.

Uszkodzalność to obok trwałości i sposobności remontowania podstawowa cecha obiektu decydująca o jego niezawodności.

W pracy przedstawiona zostanie metoda oceny niezawodności sieci kanalizacyjnej. Jako narzędzie przyjęto dwuparametryczną metodę wyznaczania niezawodności opartą na pojęciu tzw. częstości uszkodzeń. Aplikacje tej metody zobrazowano na przykładzie eksploatowanej sieci kanalizacyjnej, dla której dysponowano bazą danych.

2. Awaryjność w systemach kanalizacyjnych

Z niezawodnościowego punktu widzenia sieć kanalizacyjna wraz z uzbrojeniem stanowi obiekt odnawialny. Poszczególne kanały, uzbrojenie ulegają uszkodzeniom, a następnie przez odpowiednie służby są remontowane, naprawiane lub usuwane i zastępowane nowymi. Rodzaj, częstotliwość awarii, sposobność usuwania awarii, skutki awarii są różne w różnych systemach kanalizacyjnych [6].

W odniesieniu do rozwiązań konwencjonalnych (kanalizacja grawitacyjna), charakteryzujących się tzw. hierarchiczną strukturą, awarie, w zależności od jej lokalizacji, przynoszą różne skutki. Dotyczyć one mogą użytkownika samego systemu (kanalizacji), użytkowników innych systemów znajdujących się w sąsiedztwie kanalizacji oraz otaczającego środowiska. Skutki te są częściowo nie wymierne, a dodatkowo sytuację komplikuje stosunkowo trudna wykrywalność awarii sieci zewnętrznej. Wśród zdarzeń prowadzących do awarii tego typu rozwiązań kanalizacyjnych wymienia się: zamulenie, zagruzowanie, zatkanie, pęknięcie, przerost korzeni drzew do wnętrza kanału, deformacja, ubytki ścian i dna kanału, zawał, uszkodzenie podłączenia do studni połączeniowych, kołyski, korozja, narośla czy inkrustacje.

Najczęściej występujące awarie w rozwiązaniach niekonwencjonalnych (kanalizacja ciśnieniowa, podciśnieniowa) to: przyblokowanie pływaka, niedomknięty pływak, uszkodzenie pływaka, uszkodzenie pompy próżniowej, uszkodzenie pompy tłocznej, przytkany przykanalik, uszkodzenie czyszczaka, korozja nieszczelności komór zbiorczych. W odróżnieniu od systemów konwencjonalnych w systemach niekonwencjonalnych występuje dużo większa wykrywalność awarii, ale z drugiej strony z uwagi na znaczną ilość elementów mogących ulec uszkodzeniu wydają się być bardziej zawodne.

3. Opis metody częstości uszkodzeń

Według ogólnej definicji niezawodność systemu kanalizacyjnego jest to zdolność tego systemu do odprowadzenia ścieków od wszystkich użytkowników systemu i wód opadowych w odpowiedniej ilości i ich oczyszczenie do dostatecznego stopnia w określonych warunkach eksploatacyjnych i w określonym okresie czasu. Niezawodność tą można wyrazić za pomocą miar, co przekłada się na wymierne korzyści m.in. możliwość porównywania systemów i daje kierunki ewentualnej modernizacji systemu.

W odniesieniu do systemów kanalizacyjnych jako obiektów odnawialnych, czyli naprawialnych najczęściej stosowanymi miarami są:

- ✓ średni czas pracy T_p [h],
- ✓ średni czas naprawy T_n [h],
- ✓ parametr strumienia uszkodzeń ω [1/h],
- ✓ intensywność odnowy μ [1/η],

- ✓ wskaźnik gotowości K,
- ✓ uogólniony wskaźnik gotowości Ku.

Miary te w zależności od potrzeb prowadzonych badań oraz posiadanych informacji o elementach budujących system wyznacza się stosując odpowiednio metody analizy strukturalnej jednoparametryczne lub dwuparametryczne [8] [9].

Przy ocenie jednoparametrycznej można podać średni czas pracy T_p , średni czas odnowy T_n , lub jak to jest najczęściej wskaźnik gotowości K. Pojedynczy wskaźnik nie charakteryzuje jednak systemu w sposób jednoznaczny. Przyjmując, że mamy średni czas pracy jest dostatecznie długi nie jest to równoznaczne z wysoką niezawodnością, może się okazać, że sposobność naprawy jest bardzo mała, a czas odnowy długi. Podobnie znajomość tylko wskaźnika gotowości K w ocenie niezawodności jest niewystarczająca. Istnieje bowiem kilka takich par T_p i T_n , które dają tą sama wartość wskaźnika gotowości. Tak więc w ocenie niezawodności, jeżeli jest to tylko możliwe, należy posługiwać się więcej niż jednym parametrem.

Przyjmując do wyznaczenia miar niezawodności sposób pośredni (czyli systemowy) oraz uwzględniając fakt, że systemy kanalizacyjne to systemy złożone można stosować na przykład takie metody jak:

- ✓ metodę częstości uszkodzeń,
- ✓ metodę minimalnych przekrojów niesprawności,
- ✓ metodę drzewa uszkodzeń.

Aplikacje metody drzewa uszkodzeń przedstawiana była przez autorów we wcześniejszych pracach [1] [5] [7].

Poniżej omówiona zostanie metoda częstości uszkodzeń.

W klasycznej metodzie wprowadza się pojęcie funkcji częstości uszkodzeń równej [4]:

$$f = \frac{1}{T_p + T_n} \quad (1)$$

gdzie:

T_p, T_n – jw.

Określa ona jak często dany obiekt ulega uszkodzeniu, czyli ile cykli pracy o długości $T = T_p + T_n$ wystąpi w rozpatrywanym odcinku czasu. Uwzględniając powyższe oraz wzór na wartość stacjonarnego wskaźnika gotowości K:

$$K = \frac{T_p}{T_p + T_n} \quad (2)$$

otrzymuje się:

$$T_p = \frac{K}{f} \quad (3)$$

oraz

$$T_n = \frac{1 - K}{f} \quad (4)$$

Metodę klasyczną częstości uszkodzeń można stosować dla struktur podstawowych czyli szeregowej, równoległej oraz progowej. W odniesieniu do systemów kanalizacyjnych w zdecydowanej większości jako systemów złożonych stosuje się uogólnioną metodę częstości połączoną z metodą przeglądu [1] [4] [9]. Przy spełnieniu założenia o wykładniczym rozkładzie zmiennej losowej opisującej czas pracy pomiędzy uszkodzeniami uogólniona częstość uszkodzeń systemu ϕ jest równa:

$$\phi = \sum_{z \in E0} \sum_{i \in E1} p_i \cdot \lambda_{iz} \quad (5)$$

gdzie:

- p_i – prawdopodobieństwo zajęcia i-tego stanu elementarnego,
- λ_{iz} – intensywność przejścia systemu ze stanu i-tego do stanu z-tego,
- E1, E0 – odpowiednio stan sprawności i niesprawności systemu.

Funkcja wyżej opisuje przypadki przejścia systemu ze stanu niesprawności E1 do stanu niesprawności E0, czyli przypadki utraty sprawności systemu. Suma wszystkich stanów E1 oraz stanów E0 dla systemu składającego się z „n” elementów, traktowanych dwustanowo (sprawny lub niesprawny), wynosi $I = 2^n$. Prawdopodobieństwo zajęcia każdego stanu p_i określa wzór:

$$p_i = \prod_{j \in e1_i} K_j \cdot \prod_{j \in e0_i} (1 - K_j) \quad (6)$$

gdzie:

- K_j - prawdopodobieństwo sprawności j-tego elementu systemu w dowolnej chwili, określone wartością stacjonarnego wskaźnika gotowości tego elementu, czyli za pomocą wzoru (2),
- i - numer stanu elementarnego systemu, $i = 1, 2, \dots, I$,
- j - numer elementu systemu, $j = 1, 2, \dots, n$,
- $e1_i$ - zbiór tych elementów, które są sprawne w i-tym stanie systemu,
- $e0_i$ - zbiór tych elementów, które są niesprawne w i-tym stanie systemu.

Do wyznaczenia stanów systemu E0 i E1 służy metoda przeglądu. W zależności od liczby elementów rozpatrywanych w systemie będzie przegląd zupełny lub częściowy. Wartość stacjonarnego wskaźnika gotowości systemu określa wzór:

$$K = \sum_{i \in E1} p_i \quad (7)$$

oznaczenia j_w .

Funkcja uogólnionej częstości uszkodzeń systemu ϕ spełnia zależność analogiczna o relacji (1) czyli wartości oczekiwane czasów bezuszkodzeniowej pracy systemu Tp i odnowy Tn można wyznaczyć z zależności:

$$Tp = \frac{1}{\phi} \sum_{i \in E1} p_i \quad (8)$$

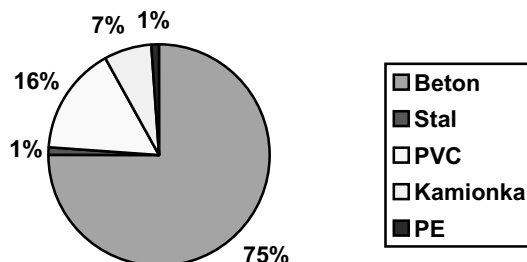
oraz

$$Tn = \frac{1}{\phi} \sum_{i=E0} p_i \quad (9)$$

oznaczenia jw.

4. Dwuparametryczna ocena niezawodności podsystemu sieci kanalizacyjnej na przykładzie miasta Tarnów za pomocą metody MP + f

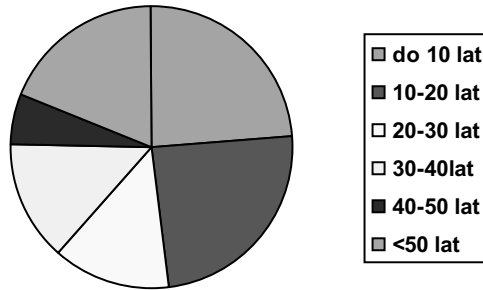
Na system usuwania i oczyszczania ścieków (SUsOŚ) dla miasta Tarnowa składa się kolejno: podsystem odprowadzania ścieków (podsystem sieci kanalizacyjnej), podsystem oczyszczania ścieków oraz wylot do odbiornika, którym jest rzeka Biała. Miasto Tarnów w większości skanalizowane jest w systemie ogólnospławnym. W przeważającej części sieć wykonana jest z przewodów betonowych rys. 1.



Rys.1. Procentowy udział materiałów użytych do budowy sieci kanalizacyjnej miasta Tarnowa

Fig. 1. Percentage of materials used for Tarnów sewage system

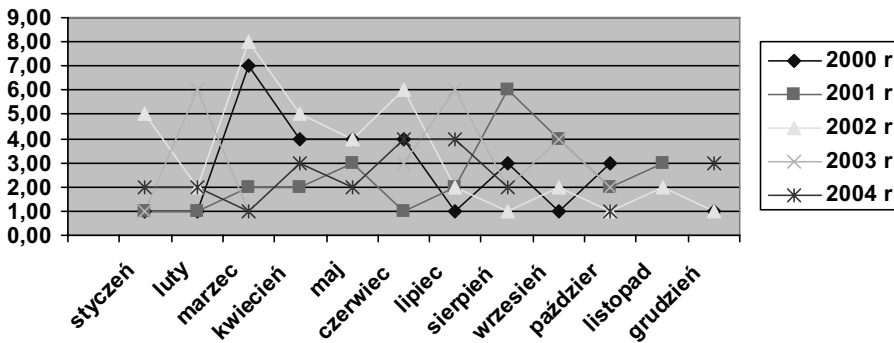
Na wykresie poniżej zamieszczono strukturę wiekową sieci kanalizacyjnej w mieście Tarnowie.



Rys. 2. Struktura wiekowa sieci kanalizacyjnej miasta Tarnowa

Fig. 2. Age structure of Tarnów sewage system.

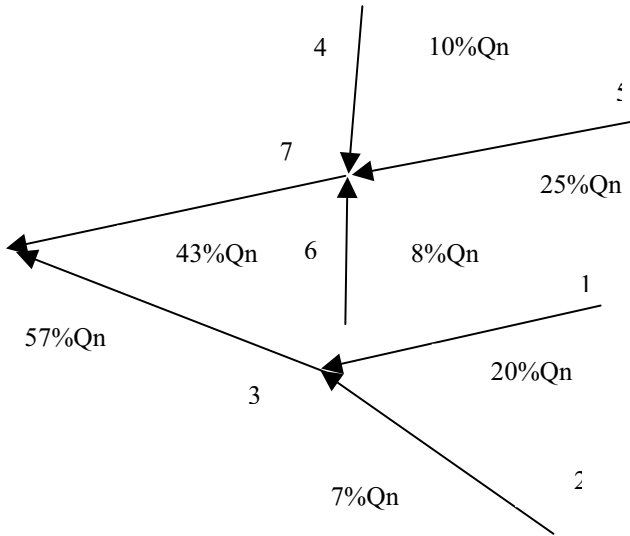
Tarnowska sieć kanalizacyjna, o łącznej długości przewodów 210,4 km (stan na rok 2004), zarządzana jest przez Wodociągi Tarnowskie Sp.z.o.o. Do obsługi tej sieci Przedsiębiorstwo posiada 3 brygady remontowe. Średnio w roku, w ciągu ostatnich 5 lat, służby remontowe interweniowały około 29 razy. Najwięcej awarii dotyczyło udrożnień. Oprócz tego miały miejsce pęknięcia kanału, załamania.



Rys. 3. Awarie sieci kanalizacyjnej miasta Tarnowa

Fig. 3. Tarnów sewage system damages

Punktem wyjścia do obliczeń jest przyjęcie schematu uproszczonego sieci (rys. 4). Podstawą do jego stworzenia był schemat technologiczny sieci kanalizacyjnej. W ramach dostosowania tegoż schematu do potrzeb metody dokonano szeregu uproszczeń, bez których obliczenia byłyby zbyt skomplikowane i pracochłonne. W analizie uwzględniono tylko główne kolektory, pominięto uzbrojenie. W obliczeniach rozpatrywano przypadek, kiedy uszkodzenia kanałów mają miejsca w ich dolnych węzłach.



Rys. 4. Uproszczony schemat sieci kanalizacyjnej miasta Tarnowa

Fig. 4. Simplified diagram of Tarnów sewage system

Metoda „MP + f”, którą się posłużono, łączy w sobie metodę przeglądu i metodę częstości uszkodzeń. Ponieważ liczba elementów wynosi $n = 7$, a liczba wszystkich stanów elementarnych systemu wynosi $I = 2^n = 128$, więc analiza niezawodnościowo oparta będzie na metodzie przeglądu częściowego MPCz. Uwzględniono tylko te stany systemu, w których uszkodzeniu ulegnie nie więcej niż jeden element. Kierowano się po pierwsze tym, że prawdopodobieństwo uszkodzenia więcej niż jednego elementu równocześnie jest bardzo małe oraz bardzo małą liczbą stanów sprawności systemu przy liczbie równoczesnych uszkodzeń większej niż jeden. Stąd ostateczne wyniki mają charakter przybliżony, jednak zdaniem autorów dokładność jest wystarczająca. Jednostkowa intensywność uszkodzeń sieci kanalizacyjnej miasta Tarnowa, określona drogą estymacji, wynosi $\lambda = 0,14133 \times 10^{-4}$ [1/hxkm]. Średni czas naprawy przyjęto $T_n = 6$ [h]. Znajac długości poszczególnych odcinków wyznaczono intensywność uszkodzeń elementu (danego odcinka sieci) λ_{el} . Jako kryterium sprawności sieci kanalizacyjnej przyjęto, że odprowadzi ona nie mniej niż 75% Q_n (Q_n – nominalna ilość ścieków z kanalizowanego obszaru). Wyniki kolejnych kroków obliczeń zamieszczono w tabeli 1.

Przyjęto następujące oznaczenia: i – numer kolejnego stanu systemu, k – liczba równoczesnych uszkodzeń elementów w systemie, p_i – prawdopodobieństwo zajęcia i -tego stanu, Q_i – ilość odprowadzonych ścieków w i -tym stanie, N_i – ilość nie odprowadzonych ścieków w i -tym stanie,

Stacjonarny wskaźnik gotowości analizowanej sieci, przy założeniu kryterium sprawności $Q \geq 0,75Q_n$, określony ze wzoru (7) wynosi:

$$K \cong p_1 + p_2 + p_3 + p_6 + p_7 \cong 0,99945846$$

Wyznaczona za pomocą wzoru (8) wartość intensywności strumienia uszkodzeń Λ (równoważnie wg A Wieczystego wartość funkcji częstości Φ) wynosi:

$$\Phi \cong \lambda_1 \cdot (p_3 + p_5 + p_6 + p_7) + \lambda_2 \cdot (p_2 + p_6) + \lambda_3 \cdot (p_1 + p_2 + p_3 + p_5 + p_6 + p_7) + \lambda_4 \cdot (p_2 + p_6) + \lambda_5 \cdot (p_2 + p_3 + p_5 + p_7) + \lambda_6 \cdot (p_1 + p_6) + \lambda_7 \cdot (p_1 + p_2 + p_3 + p_5 + p_6 + p_7) \cong 1,45758 \cdot E - 4$$

Wartości średnich czasów pracy i odnowy wyznaczone odpowiednio wg wzorów (8) (9) wynoszą

$$T_p = 6\,856,97 \text{ h} = 285,7 \text{ d} \text{ oraz } T_n = 3,72 \text{ h} = 0,15 \text{ d}$$

5. Podsumowanie

W referacie przedstawiono rozważania dotyczące ryzyka uszkodzenia systemu kanalizacyjnego. Zaprezentowano metodę oceny niezawodności działania tego systemu przy zastosowaniu dwuparametrycznej metody wyznaczania niezawodności opartą o omówioną szczegółowo metodę częstości uszkodzeń MP+f, na podstawie analizy przyczyn awaryjności systemów kanalizacyjnych.

Rozważania teoretyczne zilustrowano konkretnym przykładem wykorzystania tej metody do oceny niezawodności działania podsystemu sieci kanalizacyjnej miasta Tarnowa, analizując jego awaryjność i wyznaczając takie wskaźniki niezawodności jak stacjonarny wskaźnik gotowości, wartość intensywności strumienia uszkodzeń oraz średni czas pracy i odnowy.

Bibliografia

- [1] Bajer, J Iwanejko, R Kapcia, J. Niezawodność systemów wodociągowych wodociągowych kanalizacyjnych w zadaniach. Podręcznik dla studentów Wyższych Szkół Technicznych. Kraków 2006
- [2] Dąbrowski, W. Oddziaływanie sieci kanalizacyjnej na środowisko. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.
- [3] Denczew, S. Królikowski, A. Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociągowo-kanalizacyjnych, Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 2002
- [4] Iwanejko, R. O praktycznym sposobie dokonania dwuparametrycznej oceny niezawodności systemu za pomocą metody przeglądu. Czasopismo Techniczne PK, 2002, z. 8.
- [5] Kapcia, J. Ocena niezawodności podsystemu sieci kanalizacyjnej dla miasta Nowy Sącz. VI Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych, Wisła 2006.
- [6] Kapcia, J. Awaryje w systemach kanalizacyjnych. Rynek Instalacyjny (5) 2006.

- [7] Królikowska, J Królikowski, A. Wybór metody do oceny niezawodności sieci kanalizacyjnej jako systemów złożonych, VI Zjazd Kanalizatorów Polskich POLKAN 07. Łódź 2007.
- [8] Kwietniewski, M Roman, M Kłos-Trębaczewicz, H. Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady 1994
- [9] Wieczysty, A. Niezawodność systemów wodociagowych i kanalizacyjnych. Teoria niezawodności i jej zastosowania. Cz. I i II. Skrypt PK, Kraków 1990

Artykuł został realizowany w ramach projektu badawczego Polskiego Komitetu Badań Naukowych nr 3 T09D 037 29.