

ŚRODOWISKO

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-Ś/2011

ZESZYT 1

ROK 108

ISSUE 1

YEAR 108

JADWIGA KRÓLIKOWSKA, ANDRZEJ KRÓLIKOWSKI*

NIEZAWODNOŚĆ BEZPIECZEŃSTWA SIECI KANALIZACYJNEJ

SAFETY RELIABILITY IN SEWAGE NETWORKS

Streszczenie

Rozwój systemów kanalizacyjnych, a szczególnie głównego ich elementu – sieci kanalizacyjnych, zaliczanych do infrastruktury krytycznej na obszarach zurbanizowanych, wymaga często oceny niezawodności bezpieczeństwa ich funkcjonowania. Awarie sieci kanalizacyjnych mogą powodować sytuacje niebezpieczne oraz zdarzenia katastroficzne, niekorzystnie oddziałujące na środowisko gruntowo-wodne w otoczeniu kanałów i gospodarkę przestrzenną. W artykule zaproponowano metodę oceny niezawodności bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej wraz z jej aplikacją.

Słowa kluczowe: zdarzenia niepożądane, zagrożenie, straty, zanieczyszczenia incydentalne, awaria sieci kanalizacyjnej

Abstract

Intensive the development of sewage systems, and especially their main element being the sewage networks, which are placed amongst the critical infrastructure in urban areas, often demands an evaluation of the reliability of their operation. Sewage network failures may bring about dangerous situations and catastrophic events affecting the neighbouring ground-and-water environment and the spatial development of the area surrounding the pipes. The following paper proposes a method of safety reliability evaluation for a sewage network and the application thereof.

Keywords: transfer unwanted event, danger, losses, incidental pollution, sewage network failure

* Dr inż. Jadwiga Królikowska, prof. dr hab. inż. Andrzej Królikowski, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Rozwój systemów kanalizacyjnych, a szczególnie głównego ich elementu – sieci kanalizacyjnych, zaliczanych do infrastruktury krytycznej na obszarach zurbanizowanych, wymaga często oceny niezawodności bezpieczeństwa ich funkcjonowania. Awarie sieci kanalizacyjnych mogą powodować sytuacje niebezpieczne oraz zdarzenia katastroficzne, niekorzystnie oddziałujące na środowisko gruntowo-wodne w otoczeniu kanałów i gospodarkę przestrzenną. Skromny dorobek publikacyjny w tym zakresie przy uwzględnieniu cechy charakterystycznej tych systemów, tj. ich wielostanowości, uzasadnia potrzebę zajęcia się problemem niezawodności bezpieczeństwa funkcjonowania sieci kanalizacyjnej.

2. Ogólna charakterystyka systemów kanalizacyjnych w aspekcie niezawodności

Bezpieczeństwo (stan niezawodności bezpieczeństwa NB) w skali makro w zakresie systemu kanalizacyjnego można zdefiniować przez analogię do systemów zaopatrzenia w wodę [7] jako stan gospodarki ściekowej umożliwiający zebranie, odprowadzenie oraz oczyszczenie bieżącej i perspektywicznej ilości ścieków sanitarnych (komunalnych) oraz deszczowych, przy zachowaniu wymagań sanitarnych, ochrony środowiska i utrzymaniu porządku publicznego.

Podstawowe pojęcia związane z bezpieczeństwem to:

- zdarzenie niepożądane,
- zagrożenie,
- straty.

Zdarzenie niepożądane, utożsamiane ze stanem zawodności bezpieczeństwa systemu ZB, jest to zdarzenie, którego zajście w rozpatrywanym systemie wywołuje w efekcie zagrożenie dla chronionych dóbr, które przekłada się na straty jako jego negatywne skutki. Mogą to być straty finansowe, straty ludzkie, straty ekologiczne spowodowane zagrożeniami naturalnymi, technicznymi i wywołanymi działalnością człowieka. Do zagrożeń naturalnych należą m.in. anomalie pogodowe, ruchy tektoniczne, plagi zwierzęce, epidemie. Wśród zagrożeń technicznych wymienia się katastrofy budowlane i komunikacyjne, awarie urządzeń infrastruktury technicznej, katastrofy górnicze, awarie chemiczne, pożary itp. Trzecia grupa zagrożeń to np. błędne decyzje, zaniedbania, umyślne działania destrukcyjne (terroryzm).

Zdarzeniami niepożądanymi w odniesieniu do sieci kanalizacyjnej mogą być trzęsienia ziemi, deszcze nawalne, powódzie, uszkodzenia kanałów, błędy operatorów systemu, błędy użytkowników, plaga szczurów, katastrofy górnicze, a towarzyszące im skutki to skażenie środowiska gruntowo-wodnego, zalanie nieruchomości i terenu, epidemie.

Stan zagrożenia wywołuje zdarzenie niepożądane, któremu można przypisać pewien „potencjał niebezpieczeństwa”; jego wyzwolenie może prowadzić do powstawania strat. Zatem zagrożenie jest to warunkowa możliwość powstawania strat, pojawiająca się w wyniku pojedynczego zdarzenia niepożądanego w systemie, utożsamiana ze stanem zagrożenia bezpieczeństwa ZgB. Jako przykład może posłużyć pęknięcie kanału z możliwością eksfiltracji wód gruntowych do jego wnętrza.

Przejsie z stanu zagrożenia do strat nie jest zdarzeniem pewnym. Odbywa się ono jedynie z pewnym prawdopodobieństwem, które jest tym większe, im wyższy jest poziom zagro-

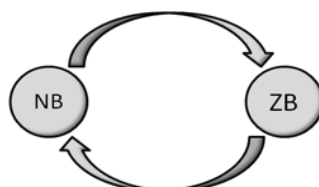
żenia. Także i wielkość strat może być traktowana jako zmienna losowa. Może ona przyjąć wartość zero nawet przy dużym zagrożeniu lub wartość większą od zera.

Przechodzenie sieci kanalizacyjnej do poszczególnych stanów prezentują rysunki 1, 2, 3 i 4. Najczęściej występuje sytuacja odpowiadająca modelom na rysunkach 3 i 4.



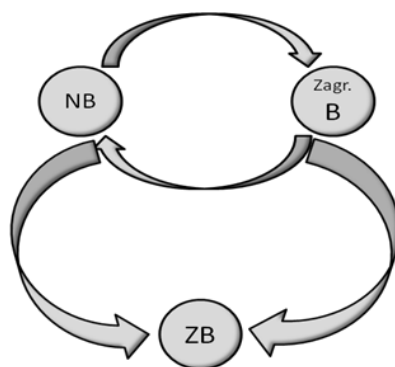
Rys. 1. Model dwustanowy, z nieodwracalnym stanem zawadności, przejść stanów bezpieczeństwa obiektu

Fig. 1. A two-state model of transition of object's security states with an irreversible failure state



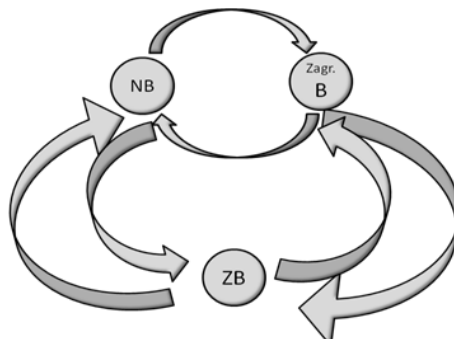
Rys. 2. Model dwustanowy, z odwracalnym stanem zawadności, przejść stanów bezpieczeństwa obiektu

Fig. 2. A two-state model of transition of object's security states with a reversible failure state



Rys. 3. Model trójstanowy, z nieodwracalnym stanem zawadności, przejść stanów bezpieczeństwa obiektu

Fig. 3. A three-state model of transition of object's security states with an irreversible failure state



Rys. 4. Model trójstanowy, z odwracalnym stanem zawodności, przejść stanów bezpieczeństwa obiektu

Fig. 4. A three-state model of transition of object's security states with a reversible failure state

Do oceny niezawodności bezpieczeństwa systemów kanalizacyjnych (obiektów technicznych) można stosować podstawowe wskaźniki bezpieczeństwa, czyli charakterystyki funkcyjne klasycznej teorii bezpieczeństwa [3], do których zalicza się m.in.:

- zawodność bezpieczeństwa $F_b(T)$,
- niezawodność bezpieczeństwa $R_b(t)$,
- intensywność zawodności bezpieczeństwa $\lambda_b(t)$,
- średni czas eksploatacji obiektu do chwili przejścia do stanu zawodności bezpieczeństwa T_b .

3. Metoda oceny niezawodności bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej – charakterystyka systemów kanalizacyjnych w aspekcie niezawodności

Jako kryterium ilościowej oceny bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej można przyjąć uszkodzenia wywołujące utratę bezpieczeństwa oraz te, które występując z dużą częstotliwością, mogą do niej doprowadzić [3].

Upraszczając nieco tok postępowania, można nie uwzględniać stanu zagrożenia bezpieczeństwa, stąd podane niżej rozważania odnoszą się praktycznie do dwóch stanów, tj.:

1. Bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej (niezawodność bezpieczeństwa NB).
2. Braku bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej (zawodność bezpieczeństwa ZB).

Jest to analogia do funkcjonalnej dwustanowości:

1. Sieć kanalizacyjna sprawna (niezawodność funkcjonowania NF).
2. Sieć kanalizacyjna niesprawna (zawodność funkcjonowania ZF).

Zawodność bezpieczeństwa $F_b(t)$ można określić jako dystrybuantę czasu eksploatacji obiektu do chwili jego przejścia w stan zawodności bezpieczeństwa. Czas ten jest zmienną losową, a jego losowość wynika np. z losowego charakteru czynników porażających i losowego charakteru przebiegu przeciwdziałania sytuacjom niebezpiecznym. Często stosowaną miarą zawodności bezpieczeństwa jest prawdopodobieństwo tego, że obiekt przejdzie od stanu niezawodności bezpieczeństwa do stanu zawodności bezpieczeństwa i ulegnie zniszczeniu w całości lub w istotnej części w czasie t , czyli:

$$F_B(t) = P(T_B < t) \quad (1)$$

gdzie:

T_B – funkcja losowa oznaczająca czas przebywania w stanie bezpieczeństwa,
 t – rozpatrywany czas.

Porażenie systemu może być spowodowane przez czynniki porażające zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne.

Kolejnym istotnym wskaźnikiem bezpieczeństwa jest intensywność zawodności bezpieczeństwa $\lambda_B(t)$, przez którą rozumie się gęstość rozkładu prawdopodobieństwa zawodności bezpieczeństwa w chwili $t + \Delta t$ pod warunkiem, że do chwili t obiekt nie przeszedł do stanu zawodności bezpieczeństwa, a mianowicie:

$$\lambda_B(t) = \frac{f_B(t)\Delta t}{R_B(t)} = \frac{-R_B'(t)}{R_B(t)} \quad (2)$$

gdzie:

$f_B(t)$ – funkcja rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej T_B .

Po przekształceniu tego wzoru wskaźnik charakteryzujący nieprzejście obiektu do stanu zawodności bezpieczeństwa, zwany niezawodnością bezpieczeństwa $R_B(t)$, przyjmie postać:

$$R_B(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda_B(\tau) d\tau\right] \quad (3)$$

Przy dwustanowości istnieje następujący związek pomiędzy wskaźnikiem zawodności bezpieczeństwa $F_B(t)$ i niezawodnością bezpieczeństwa $R_B(t)$:

$$F_B(t) + R_B(t) = 1 \quad (4)$$

Powyższe rozważania dotyczą przypadku, kiedy zawodność jest stanem pochłaniającym, mało przydatnym przy rozpatrywaniu problematyki bezpieczeństwa kanalizacji. W tym przypadku zawodność bezpieczeństwa nie jest stanem pochłaniającym i można go określić jako prawdopodobieństwo tego, że w dowolnej chwili t znajduje się w stanie uszkodzenia katastroficznego, tj. takiego uszkodzenia obiektu, z którym wiążą się duże straty materialne lub utrata zdrowia, a nawet życia. Straty wywołane awariami w obrębie podsystemu usuwania ścieków, które generują koszty związane są:

- z koniecznością naprawy lub renowacji kanałów,
- ze zniszczeniem sąsiedniej infrastruktury,
- ze zniszczeniem środowiska,
- z uszkodzeniem infrastruktury nadziemnej,
- ze stratami społecznymi.

Oznaczając straty katastroficzne przez C , symbolicznie można zapisać, że:

$C > 0$, czyli straty występują, a przeciwnie

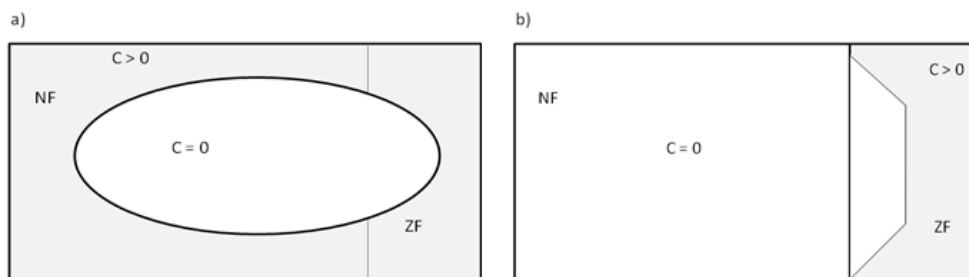
$C = 0$ oznacza, że straty katastroficzne nie zachodzą.

Ogólnie można więc zapisać:

$$P(NB) = P(C = 0) \quad (5)$$

co oznacza, że miarą niezawodności bezpieczeństwa jest prawdopodobieństwo niezajścia strat katastroficznych.

Dwie z możliwych sytuacji współistnienia rozważanych stanów, bez uwzględniania stanu zagrożenia bezpieczeństwa, z powstawaniem strat, przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Modele rozważanych stanów

Fig. 5.

Zgodnie z modelem na rysunku 5a utrata bezpieczeństwa – wystąpienie strat katastroficznych ($C > 0$) może nastąpić wtedy, gdy sieć kanalizacyjna ulegnie uszkodzeniu oraz gdy jest ona sprawna. W tym przypadku prawdopodobieństwo zawodności bezpieczeństwa jest określone zależnością:

$$P(ZB) = P(C > 0) = P(C > 0/NF) \cdot P(NF) + P(C > 0/ZF) \cdot P(ZF) \quad (6)$$

w której:

$P(C > 0/NF)$ – prawdopodobieństwo zajścia strat katastroficznych w stanie sprawności obiektu,

$P(C > 0/ZF)$ – prawdopodobieństwo zajścia strat katastroficznych pod warunkiem, że obiekt uległ awarii.

Natomiast prawdopodobieństwo niezawodności bezpieczeństwa określono jako:

$$P(NB) = P(C = 0) = P(C = 0/NF) \cdot P(NF) + P(C = 0/ZF) \cdot P(ZF) \quad (7)$$

gdzie:

$P(C = 0/NF)$ – prawdopodobieństwo niezajścia strat katastroficznych w stanie funkcjonalnej sprawności obiektu,

$P(C = 0/ZF)$ – prawdopodobieństwo niezajścia strat katastroficznych pod warunkiem, że obiekt uległ awarii.

Przyjmując dwustanowość obiektu, można zapisać:

$$P(NB) = 1 - P(ZB) \quad (9)$$

Zakładając jednak z pewnym przybliżeniem, że jeżeli obiekt jest sprawny, to straty katastroficzne nie wystąpią, można przyjąć:

$$P(C = 0/NF) = 1 \quad (10)$$

$$P(C > 0/NF) = 0 \quad (11)$$

Jeśli wprowadzi się, że:

$$P(ZF) = 1 - P(NF) \quad (12)$$

to prawdopodobieństwo niezawodności bezpieczeństwa dla tego przypadku wyniesie:

$$P(NB) = P(NF) + P(C = 0/ZF) \cdot [1 - P(NF)] \quad (13)$$

a prawdopodobieństwo zawodności:

$$P(ZB) = P(C > 0/ZF) \cdot P(ZF) \quad (14)$$

lub

$$P(ZB) = 1 - P(NB) \quad (15)$$

Prawdopodobieństwo $P(NF)$, które w tym przypadku dotyczy obiektów odnawialnych, można opisać wskaźnikiem gotowości K , zaś prawdopodobieństwo $P(ZF)$ przez $1 - K$, dla obiektów, których metodyka określona została w tej pracy. Wielkości $P(C = 0/ZF)$ oraz $P(C > 0/ZF)$ wyznacza się na podstawie studiów lub danych badawczych i tym sposobem można z pewnym przybliżeniem ustalić poziom bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej.

4. Aplikacja metody oceny niezawodności bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej

Aplikację metody zobrazowano, posługując się przykładem wylotu kanału deszczowego (ściekowego) do odbiornika.

Możliwe niekorzystne zdarzenia w działaniu kanału wylotowego to (zrzut ścieków do odbiornika):

1. Pojawienie się incydentalnych, niebezpiecznych zanieczyszczeń w zrzucanych ściekach.
2. Pojawienie się niebezpiecznych zanieczyszczeń w wodzie odbiornika.
3. Występowanie małych przepływów w odbiorniku $Q \leq Q_{gr}$, co zmniejsza możliwość rozcieńczenia ścieków do granicy, przy której mieszanina woda-ścieki (Q) jest już niebezpieczna.
4. Awaria oczyszczalni i do dostanie się do odbiornika nieoczyszczonych ścieków (F).

Każde z tych zdarzeń występujących pojedynczo nie spowoduje jeszcze utraty bezpieczeństwa, natomiast gdy zajdzie splot tych zdarzeń, może nastąpić utrata bezpieczeństwa. Istnieje więc sekwencja różnych losowych zdarzeń, wymagających rozpatrzenia wszystkich możliwych ich kombinacji. Pełen zbiór tych kombinacji przedstawiono w tabeli 1, każde z tych zdarzeń może zajść lub nie, a jeśli zajdzie, to z określonym prawdopodobieństwem. Prawdopodobieństwo to może być określone albo na podstawie danych eksploatacyjnych, o ile są one dostępne albo na podstawie analizy niezawodności działania obiektów stanowiących potencjalne zagrożenie, znajdujących się w zlewni rozpatrywanego systemu kanalizacyjnego. Prawdopodobieństwo zdarzenia niezawodności funkcjonowania z powodu odnawialności wylotu kanału określone jest za pomocą wskaźnika gotowości K .

Zestawienie możliwych zdarzeń rozpatrywanych przy określaniu niezawodności bezpieczeństwa wylotu kanału

Zdarzenie		Objaśnienie
ZŚ	ZŚ0	Pojawienie się incydentalnych zanieczyszczeń w ściekach zrzucanych do odbiornika
	ZŚ1	Brak incydentalnych zanieczyszczeń w zrzucanych ściekach
ZO	ZOz0	Pojawienie się incydentalnych zanieczyszczeń w wodzie odbiornika
	ZOz1	Brak incydentalnych zanieczyszczeń w wodzie odbiornika
Q	$Q \leq Q_{gr}$ Q_0	Zdarzenie, natężenie przepływu w odbiorniku jest za małe, aby doprowadzić do takiego rozcieńczenia ścieków zawierających zanieczyszczenia incydentalne, aby zapewnić bezpieczeństwo
	$Q > Q_{gr}$	Zdarzenie przeciwne niż $Q < Q_{gr}$
F	NF F1	Zdarzenie, polegające na tym, że wylot kanału jest sprawny
	ZF F0	Zdarzenie przeciwne, wylot nie jest sprawny – jest uszkodzony

Prawdopodobieństwa $P(Q \leq Q_{gr})$ i $P(Q > Q_{gr})$ można określić z krzywej sumowej przepływów w odbiorniku.

Ocena niezawodności bezpieczeństwa zostanie przeprowadzona przy zastosowaniu metody przeglądu zupełnego, poddając analizie możliwe kombinacje zdarzeń (tabela 2).

Tabela 2

Zbiór wszystkich stanów wraz z ich klasyfikacją rozpatrywanych przy określaniu niezawodności bezpieczeństwa wylotu kanału

Nr stanu	Zdarzenia				Klasyfikacja stanów		Prawdopodobieństwo zajścia <i>i</i> -tego stanu P_i
	ZŚ	ZO	Q	F	EB1	EB0	
1	1	1	1	1	+		P_1
2	0	1	1	1	+		P_2
3	1	0	1	1	+		P_3
4	1	1	0	1	+		P_4
5	1	1	1	0		+	P_5
6	0	0	1	1		+	P_6
7	0	1	0	1		+	P_7

8	0	1	1	0		+	P_8
9	1	0	0	1	+		P_9
10	1	0	1	0		+	P_{10}
11	1	1	0	0		+	P_{11}
12	1	0	0	0		+	P_{12}
13	0	1	0	0		+	P_{13}
14	0	0	1	0		+	P_{14}
15	0	0	0	1		+	P_{15}
16	0	0	0	0		+	P_{16}

+ oznacza odpowiednio zaliczenie do stanu EB1 lub EB0

Wśród zestawionych w tabeli 2 stanów, wszystkie należące do zbioru EB1 świadczą o bezpieczeństwie wylotu kanalizacyjnego, wszystkie należące do zbioru EB0 wiążą się ze stratami katastroficznymi (skażenie środowiska), więc prawdopodobieństwo niezawodności bezpieczeństwa wynosi:

$$P(\text{NB}) = \sum_{i \in \text{EB1}} p_i \quad (16)$$

natomiast zawodność bezpieczeństwa:

$$P(\text{ZB}) = 1 - P(\text{NB}) = \sum_{i \in \text{EB0}} p_i \quad (17)$$

Przyjmując prawdopodobieństwo zajścia poszczególnych zdarzeń odpowiednio:

$$P(\text{ZS}) = 0,0003,$$

$$P(Q < Q_{gr}) = 0,05,$$

$$P(\text{ZO}) = 0,006,$$

$$P(\text{NF}) = 0,9988,$$

prawdopodobieństwo wystąpienia zawodności bezpieczeństwa wylotu kanalizacyjnego wynosi:

$$P(\text{ZB}) = 0,00000008991,$$

natomiast niezawodność bezpieczeństwa:

$$P(\text{NB}) = 1 - P(\text{ZB}) = 0,99999971.$$

Wylot kanalizacyjny charakteryzuje się zatem bardzo wysokim poziomem niezawodności bezpieczeństwa.

W przypadku niezawodnego działania kanału zrzutowego oczyszczonych ścieków, stężenie danego wskaźnika zanieczyszczenia nie przekracza wartości dopuszczalnej (S_{dop}), określonej obowiązującymi przepisami, i wówczas zrzucający ścieki ponosi tylko opłatę (Opł). Jeśli jednak nastąpi zawodność bezpieczeństwa wylotu kanału zrzutowego, do odbiornika trafią wylotem awaryjnym nieoczyszczone ścieki, może nastąpić przekroczenie wartości dopuszczalnej i zrzucający będzie zmuszony wówczas zapłacić karę (K).

Przykładowo dla parametrów:

- ilość ścieków $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$,
- stężenie zawiesiny w ściekach zrzucanych $S = 400 \text{ mg/l}$,
- dopuszczalne stężenie zawiesiny $S_{\text{dop}} = 100 \text{ mg/l}$,
- opłata $Opł = 0,41 \text{ zł/kg}$,
- kara $K = 3,82 \text{ zł/kg}$

powyższa opłata i kara wynoszą:

1. Opłata wynikająca ze zrzutu ścieków o stężeniu zawiesiny nieprzekraczającej wartości dopuszczalnej:

$$L_{\text{zaw. dop}} = 0,0009 \cdot Q \cdot S_{\text{dop}} = 0,0009 \cdot 500 \cdot 100 = 45 \text{ kg}$$

$$Opł = L_{\text{zaw. dop}} \cdot 0,41 = 45 \cdot 0,41 = 18,45 \text{ PLN}$$

2. Opłata – kara wynikająca ze zrzutu ścieków o stężeniu zawiesiny przekraczającej wartości dopuszczalnej

$$L_{\text{zaw. przekr.}} = 0,0009 \cdot 500 \cdot (400 - 100) = 135 \text{ kg}$$

$$K_{\text{zaw. przekr.}} = 135 \cdot 3,82 = 515,7 \text{ PLN}$$

W przykładzie różnica pomiędzy opłatą a karą nie jest duża, ale przy większym odpływie ścieków lub znacznych stężeniach zawiesiny może być już istotnie większa.

5. Wnioski

W niniejszym artykule zaprezentowano m.in. modele stanu niezawodności bezpieczeństwa systemów kanalizacyjnych oraz metodę oceny tej niezawodności przy równych stanach poziomu bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej z ilustracją aplikacyjną tej metody na przykładzie wylotu kanału (ściekowego lub deszczowego) do odbiornika. Podano też konkretny przykład opłaty i kary za odprowadzenie do odbiornika ponadnormatywnego stężenia zawiesiny w zrzucanych ściekach. Pośrednio poziom bezpieczeństwa zwykle jest wyrażany za pomocą ryzyka (miar ryzyka), które jest bezpośrednio związane z zawodnością bezpieczeństwa. Oszacowanie i ocena poziomu ryzyka, czyli analiza ryzyka związanego z określonym źródłem zagrożenia lub zbiorem źródeł zagrożenia w systemie oraz wskazanie sposobów ewentualnej poprawy bezpieczeństwa, jest istotnym działaniem na rzecz poprawy bezpieczeństwa.

Literatura

- [1] Biedugnis S., Smolarkiewicz M., *Bezpieczeństwo i niezawodność układów wodociągowych*, Warszawa 2004.
- [2] Imhoff K., *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków*, Poradnik, Arkady, 1982.
- [3] Jaźwiński J., Ważyńska-Fiók K., *Bezpieczeństwo systemów*, PWN, Warszawa 1993.

- [4] K a p c i a J., *Niezawodność syfonów kanalizacyjnych*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1997.
- [5] K r ó l i k o w s k a J., *Metodyka oceny niezawodności i bezpieczeństwa działania podsystemu usuwania ścieków*, Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej, Inżynieria Ekologiczna, Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Nr 56, Gdańsk 2009.
- [6] K r ó l i k o w s k a J., K r ó l i k o w s k i A., *Analiza porównawcza metod oceny niezawodności systemów usuwania i unieszkodliwiania ścieków*, Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu „Funkcjonowanie, eksploatacja i bezpieczeństwo systemów gazowych, wodociągowo-kanalizacyjnych oraz grzewczych”, Wydawnictwo PZiTŚ Kraków Instal, 10/2008, Dobczyce 2008.
- [7] R a k J., *Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.