

Ryszarda IWANEJKO, Jarosław BAJER¹

ROZWAŻANIA O WYBRANYCH METODACH WYZNACZANIA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMU KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ

Publikacja stanowi kontynuację rozważań zawartych w pracy [2], w której przedstawiono podstawy matematyczne metody Monte-Carlo i metod przeglądu stanów pracy systemu oraz przykład ich zastosowania do wyznaczania miar niezawodności EN i K_u dla prostego systemu kanalizacji grawitacyjnej. W niniejszej pracy przedstawiono przykład zastosowania wymienionych metod do wyznaczania takich samych miar dla prostego systemu kanalizacji podciśnieniowej. W obu przypadkach proces wyznaczania miar EN i K_u jest analogiczny. Jediną różnicą jest sposób wyznaczania niedoborów dla poszczególnych stanów niezawodnościowych, co wynika ze specyfiki rodzaju kanalizacji. W kanalizacji grawitacyjnej niesprawność dowolnego elementu wyłącza z pracy wszystkie elementy znajdujące się na tej samej gałęzi i odprowadzające ścieki z cząstkowych powierzchni zlewni leżących powyżej uszkodzonego elementu. W kanalizacji podciśnieniowej niesprawność niektórych elementów powoduje nieodprowadzenie ścieków tylko z jednego obiektu, a niesprawność innych elementów – niesprawność całego systemu. Zakładając, że ilość wytwarzanych w danym obiekcie ścieków zależy od liczby osób korzystających z kanalizacji, możliwe było określenie rozkładu liczby domów i ilości wytwarzanych ścieków, co umożliwiło znaczne uproszczenie modelu. W opracowaniu zamieszczono inne typy analiz niż zaprezentowane w pracy [2]. Wnioski wynikające z zastosowania wybranych metod dla kanalizacji podciśnieniowej były analogiczne do zastosowanych dla kanalizacji grawitacyjnej. Obie publikacje dotyczą skuteczności analizowanych metod, jednak nadrzędnym celem jest znalezienie lepszej metody – dokładnej i o niewielkiej pracochłonności. Należy bowiem dążyć do uzyskania jak najlepszych wyników, które byłyby przydatne podczas dalszych analiz i podejmowania strategicznych decyzji.

Słowa kluczowe: miary niezawodności, metoda Monte-Carlo, metody przeglądu, uszkodzenia, kanalizacja podciśnieniowa

1. Wprowadzenie

¹ Jarosław Bajer, Politechnika Krakowska

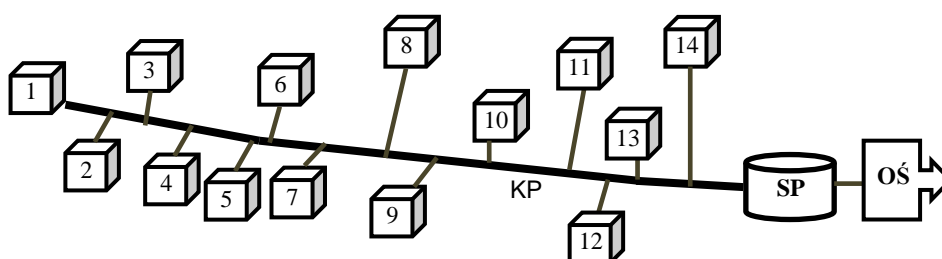
Podstawowym zadaniem systemu kanalizacyjnego (SK) jest odprowadzanie przewidzianej ilości ścieków z danego terenu. W przypadku awarii tego systemu ścieki nie będą odprowadzone, co może doprowadzić m.in. do skażenia gruntu czy podtopienia terenu. Średnia ilość nieodprowadzonych ścieków (EN) stanowi podstawę do wyznaczenia tzw. uogólnionego wskaźnika niezawodności K_u . Obie te miary charakteryzują stan techniczny systemu kanalizacyjnego. Miary EN i K_u można wyznaczać za pomocą kilku metod. Rzeczywiste SK nawet po możliwych uproszczeniach składają się z co najmniej kilkunastu – kilkudziesięciu elementów. Tradycyjnie można więc stosować metodę przeglądu częściowego. W przypadku systemów o złożonej strukturze odpowiednia wydaje się być symulacyjna metoda Monte-Carlo.

Metody przeglądu polegają na wyznaczeniu nieznanego parametru systemu (np. EN) na podstawie analizy poszczególnych stanów elementarnych systemu. Dla każdego i-tego stanu wyznacza się odpowiednie wartości, np. P_i (prawdopodobieństwo zajścia i-tego stanu), N_i (ilość ścieków nieodprowadzona w i-tym stanie). Średnią ilość nieodprowadzonych ścieków wyznacza się jako średnią ważoną. W przypadku zastosowania metody przeglądu zupełnego uwzględnia się wszystkie możliwe stany elementarne systemu, w rezultacie bardzo dużym nakładem pracy uzyskuje się wynik dokładny. W przypadku ograniczenia liczby uwzględnianych stanów do takich, w których liczba elementów uszkodzonych równocześnie jest niewielka (np. $k \leq 2$) zmniejsza się pracochłonność metody, lecz równocześnie uzyskuje się wynik przybliżony.

Metoda Monte-Carlo składa się z dwóch części. Najpierw dokonuje się numerycznej symulacji zajść pewnych zdarzeń (np. uszkodzeń) z wykorzystaniem dostępnych w wielu często stosowanych aplikacjach (np. w programie EXCEL) generatorów liczb pseudolosowych. Następnie dokonuje się statystycznego opracowania uzyskanych wyników [2]. Idea metody jest prosta, lecz jej realizacja może być kłopotliwa, wymaga bowiem napisania i przetestowania programu obliczeniowego oraz wielokrotnego wykonania obliczeń. Liczba symulacji I(M-C), na podstawie których wyznacza się wartości średnie szacowanych wielkości, powinna być duża (np. 1000). Dokładność wyniku symulacji znakomicie poprawia wykonanie wielu (m) niezależnych przebiegów symulacyjnych, z których każdy j-ty składa się z pojedynczych I(M-C) symulacji i pozwala na wyznaczenie wartości średniej z jednego przebiegu (np. $K_{u(M-C;j)}$). Następnie wyznacza się wartość średnią z wszystkich m średnich [2]. Podstawę matematyczną stanowi prawo wielkich liczb Chinczyna [1], zapewniające, że wyznaczona w ten sposób wartość (np. $K_{u(M-C)}$) będzie niewiele różnić się od szacowanej, niezwanej wartości (np. K_u).

2. Przykład systemu kanalizacji podciśnieniowej

Analizie poddano system kanalizacji podciśnieniowej. Obliczenia przeprowadzono dla przypadku, gdy z tej kanalizacji korzysta $n_d = 14$ „objektów domowych” (rys. 1.). Jako „obiekt domowy” rozumie się przyłącze kanalizacyjne i studzienkę z zaworem opróżniającym oraz podłączeniowym rurociągiem podciśnieniowym. Uwzględniono również dwa niezbędne elementy tego systemu: zbiorczy rurociąg podciśnieniowy, inaczej kolektor podciśnieniowy (KP), oraz stację próżniową (SP). Nie uwzględniano oczyszczalni ścieków (OŚ) ani przewodu transportującego ścieki z SP do OŚ. Należy więc uwzględnić łącznie $n = n_d + 2 = 16$ elementów systemu.



Rys.1. Schemat systemu kanalizacji podciśnieniowej

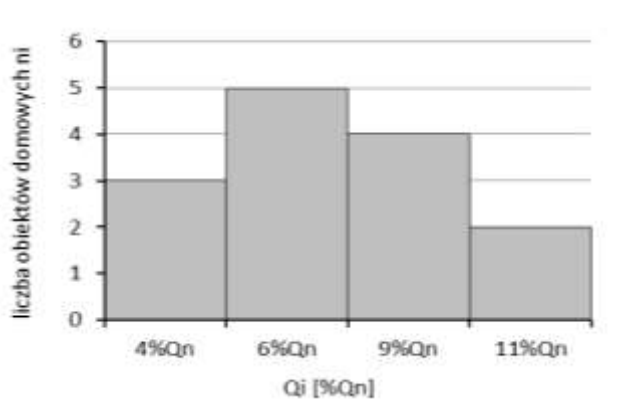
Fig.1. Diagram of a vacuum sewer system

Do obliczeń przyjęto prosty przypadek, gdy wszystkie elementy charakteryzują się taką samą niezawodnością $K_e = 0,9$. Zróznicowano jednak ilości ścieków, które powinny być odbierane z poszczególnych obiektów. W przypadku kanalizacji podciśnieniowej istotny jest jedynie rozkład ilości ścieków. Przyjęto, że dla obiektów domowych ilość wytwarzanych (odprowadzanych, wprowadzanych do systemu kanalizacyjnego) ścieków q jest wprost zależna od liczby zamieszkałych tam osób. W ten sposób ograniczono liczbę możliwych wielkości niedoborów. Przyjęty rozkład ilości wytwarzanych ścieków przedstawiono w tab. 1. i na rys. 2. W tabeli nie uwzględniono elementów głównych (KP, SP), których niesprawność generuje maksymalny niedobór $N = Q_w$. Podobnie jak w przypadku kanalizacji grawitacyjnej, tu też przyjęto ostre kryterium sprawności systemu $N = 0$ równoważne $Q_w = Q_n$.

Tabela 1. Rozkład liczby domów n_i w zależności od ilości wytwarzanych ścieków Q_i

Table 1. Distribution of a number of houses n_i as a function of a sewage volume Q_i

	i-ta grupa domów				Razem
	1	2	3	4	
Q_i [% Q_n]	4	6	9	11	100
Liczba obiektów domowych n_i	3	5	4	2	14



Rys. 2. Histogram rozkładu liczby domów w zależności od ilości wytwarzanych ścieków

Fig. 2. Histogram of a number of houses distribution as a function of a sewage volume

3. Symulacje Monte-Carlo

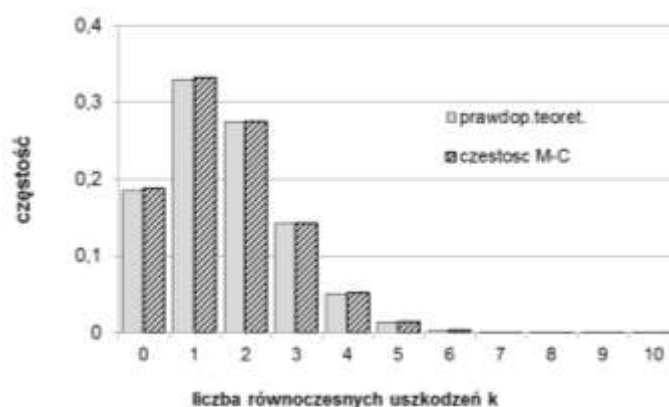
Do losowego generowania stanów zastosowano procedurę analogiczną do zaproponowanej przy kanalizacji grawitacyjnej [2]. Jediną różnicą był sposób wyznaczania niedoborów dla każdego z wygenerowanych stanów, co wynika wprost ze specyfiki działania kanalizacji podciśnieniowej [3]. Prowadzono symulacje dla $I(M-C) = 1000$ i 10000 oraz dla $K_e = 0,9$. Rezultaty ich zestawiono w tab. 2. Dokładna wartość K wynosi $K = K_e^{n_d} = 0,9^{16} = 0,185302$. Choć bezwzględny błąd procentowy jest mały (wynosi odpowiednio 0,81% i 0,53%), to nie przesądza o dokładności wyników $EN(M-C)$ oraz $K_u(M-C)$. Lepszą orientację może dać rozrzut wielkości średnich niedoborów $EN(M-C;j)$ uzyskanych z przebiegu co najmniej kilkudziesięciu symulacji. Należy go wyznaczać jako różnicę $R = \max_j \{EN(M-C;j)\} - \min_j \{EN(M-C;j)\}$. Dla $I(M-C) = 1000$ wynosi on $R \approx 0,034$, natomiast dla $I(M-C) = 10000$ jest równy $R \approx 0,013$.

Tabela 2. Wybrane wyniki uzyskane dla różnej liczby symulacji $I(M-C)$ dla $K_e = 0,9$

Table 2. Results for different numbers of simulation $I(M-C)$; $K_e = 0,9$

	I(M-C)	
	1 000	10 000
K(M-C)	0,1838	0,18628
EN(M-C)	0,33405	0,28071
Ku(M-C)	0,8162	0,81372
max_j {EN(M-C;j)}	0,35002	0,28617
min_j {EN(M-C;j)}	0,31569	0,27302
Rozstęp R	0,03433	0,01315

Pewną informacją jest również maksymalna wygenerowana liczba maksymalnych równoczesnych uszkodzeń k uzyskana podczas symulacji. Dla przyjmowanych wartości $I(M-C)$ uzyskano $k_{\max} = 8$. W przypadku obu wartości $I(M-C)$ rozkłady liczby równoczesnych uszkodzeń, tj. uzyskany z symulacji M-C oraz teoretyczny, praktycznie się nie różnią (rys. 3.).



Rys. 3. Rozkłady liczby równoczesnych uszkodzeń – uzyskany z symulacji M-C (przy $I(M-C) = 1000$) oraz teoretyczny

Fig. 3. Distributions of a number of concurrent failures both from MC simulation ($I(M-C) = 1000$) and theoretical

4. Sterowanie dokładnością obliczeń w metodzie przeglądu

W dalszej części w miejsce $EN(MPCz)$ i $K_u(MPCz)$ będą stosowane oznaczenia $EN(n;k)$ oraz $K_u(n;k)$. Pierwszy parametr oznacza liczbę uwzględnianych elementów systemu, a drugi liczbę równoczesnych uszkodzeń. W szczególności zapis $EN(n;n)$ oznacza wartość dokładną wyznaczoną za pomocą MPZ z uwzględnieniem wszystkich elementów systemu.

W przypadku kanalizacji podciśnieniowej przy stosowaniu MPCz średni niedobór EN określony ogólnie wzorem $EN = \sum N_i \cdot P_i$ objaśniony w pracy [2] można próbować oszacować, wykorzystując przyjęty rozkład ilości wytwarzanych ścieków (tab. 1.). Ograniczając analizę do liczby równoczesnych uszkodzeń $k_{\max} = 1$, można napisać:

$$EN(n; 1) = \sum_{i=1}^G N_i \cdot P_i \quad (1)$$

gdzie G – liczba przyjętych grup elementów, których niesprawność spowoduje taki sam niedobór. Dla rozważanego przypadku zachodzi $G = 5$ (cztery grupy domów i jedna grupa elementów głównych złożona z KP i SP):

$$EN(n; 1) = \sum_{i=1}^5 \binom{n_i}{1} \cdot Q_i \cdot (1 - K_e) \cdot K_e^{n_d - 1} \quad (2)$$

gdzie: Q_i – niedobór wynikający z niesprawności elementu z i -tej grupy, n_i – liczba elementów w i -tej grupie, n_d – liczba domów („objektów domowych”), K_e – wartość stacjonarnego współczynnika gotowości jednorodnych elementów.

Ograniczając analizę do $k_{\max} = 2$ równoczesnych uszkodzeń, należałoby dodatkowo uwzględnić człon $EN(k = 2)$ równy:

$$EN(n; 2) = EN(k = 2|TG) \cdot P(TG) + EN(k = 2|RG) \cdot P(RG) \quad (3)$$

gdzie pierwszy człon uwzględnia przypadki, gdy niesprawność dotyczy obiektów z tej samej grupy (TG), a drugi, gdy niesprawność dotyczy obiektów z różnych grup (RG). Jeżeli każda grupa spełnia warunek $n_i \geq 2$, można napisać:

$$EN(n; 2) = \sum_{i=1}^5 \binom{n_i}{2} \cdot \min\{Q_i, Q_n\} \cdot (1 - K_e)^2 \cdot K_e^{n_d - 2} \cdot P(TG) + \\ + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=2}^5 \binom{n_i}{1} \cdot \binom{n_j}{1} \cdot \min\{Q_i + Q_j, Q_n\} \cdot (1 - K_e)^2 \cdot K_e^{n_d - 2} \cdot P(RG) \quad (4)$$

Wartości prawdopodobieństw $P(TG)$ oraz $P(RG)$ można wyznaczyć ze wzorów:

$$P(TG) = \sum_{i=1}^G \binom{n_i}{2} : \binom{n_d + 2}{2} \quad (5)$$

$$P(RG) = 1 - P(TG) \quad (6)$$

Dla przypadków $k_{\max} > 2$ istnieje więcej kombinacji (np. wszystkie uszkodzenia w tej samej grupie, o ile n_i jest wystarczająco duże, dwa uszkodzenia w tej samej grupie, reszta uszkodzeń w innych grupach, każde z uszkodzeń w innej grupie). Ich uwzględnienie jest trudniejsze, uciążliwe i w przypadku popełnienia pomyłki może być źródłem znacznych błędów. Ten argument oprócz argumentu niewystarczającej dokładności przemawia za faktem, że stosowanie MPCz nie jest zalecane i należałoby jednak rozważyć zastosowanie MPZ.

Tabela 3. Zestawienie wybranych wyników obliczeń dla kanalizacji podciśnieniowej za pomocą MPCz i MPZ z uwzględnieniem wszystkich elementów ($n = 16$)Table 3. Results for the vacuum sewer system using MPCz and MPZ when all the elements ($n = 16$) are considered

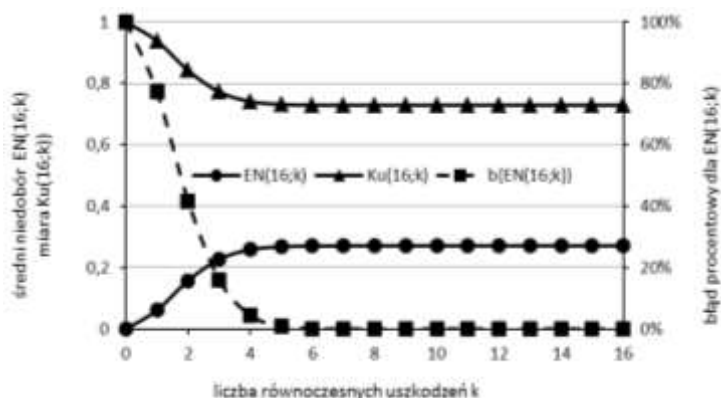
$k \leq$	EN(16;k) [%Q _n]	b{EN(16;k)}	K _u (16;k)	b{K _u (16;k)}
0	0	100%	1	-37,20%
1	6,18	77%	0,9382	-28,70%
2	15,78	42%	0,8422	-15,50%
3	22,75	16,10%	0,7725	-6,00%
4	25,87	4,50%	0,7413	-1,70%
5	26,84	1,00%	0,7316	-0,40%
6	27,06	0,20%	0,7294	-0,10%
7	27,09	0,00%	0,7291	0,00%
16	27,1	0%	0,729	0,00%

Za pomocą odpowiedniego programu wygenerowano wszystkie stany elementarne dla $n = n_d + 2 = 14 + 2 = 16$ elementów i uzyskano $I = 2^{16} = 65536$ stanów elementarnych. Dla każdego z nich wyznaczono prawdopodobieństwo jego zajścia (P_i) oraz niedobór (N_i). Część rezultatów obliczeń zestawiono w tab. 3. Oprócz wartości średnich niedoborów EN(n ;k) i wartości uogólnionego wskaźnika niezawodności K_u(n ;k) w tabeli zamieszczono również ich błędy procentowe b{EN(n ;k)} oraz b{K_u(n ;k)}, wyznaczone w stosunku do wartości dokładnych EN i K_u. Przebieg zmian wartości EN($n = 16$;k) i K_u($n = 16$;k) oraz błędu procentowego EN(k) w zależności od liczby równoczesnych uszkodzeń uwzględnianych w MPCz zilustrowano na rys. 4.

Wartości dokładne wynoszą EN = 27,1%Q_n oraz K_u = 0,7290. Wraz ze wzrostem liczby równoczesnych uszkodzeń k (rys. 4.) rośnie wartość EN(n ;k), a maleje K_u(n ;k), co oznacza, że stosując MPCz, uzyskujemy zaniżone wartości niedoborów i zawyżone wartości uogólnionego wskaźnika niezawodności. Dla analizowanego przykładu przy uwzględnianiu $k \leq 2$ bezwzględne wartości błędów dla EN i K_u są duże i wynoszą odpowiednio 42% i -15,5%. Jak wynika z tab. 3., znacznie bardziej wiarygodne wyniki daje MPCz dla $k \leq 4$, co oznacza konieczność wyznaczenia I(MPCz) = 2517 stanów elementarnych systemu.

Ze względu na specyfikę pracy kanalizacji podciśnieniowej MPZ można znacznie uprościć, przeprowadzając obliczenia nie dla wszystkich elementów systemu, lecz jedynie dla n_d elementów (tj. dla samych „obiektów domowych”). Wynika to z faktu, że awaria przynajmniej jednego obiektu głównego (KP, SP) powoduje powstanie niedoboru o maksymalnej wielkości $N = Q_w = Q_n$. Dlatego dla całego systemu można napisać:

$$EN'(n = n_d + 2; k) = EN(n_d; k) \cdot K(KP) \cdot K(SP) + Q_w \cdot [1 - K(KP) \cdot K(SP)] \quad (7)$$



Rys. 4. Zależność wartości $EN(n = 16;k)$ i $K_u(n = 16;k)$ oraz błędu procentowego $EN(k)$ od liczby równoczesnych uszkodzeń uwzględnianych w MPCz

Fig. 4. Relationship between $EN(n = 16;k)$ $K_u(n = 16;k)$ and the percentage error $EN(k)$ vs. a number of simultaneous failures included in MPCz

W dalszej części wygenerowano wszystkie stany niezawodnościowe dla $n_d = 14$ elementów w liczbie $I = 2^{14} = 16384$. Rezultaty analizy zestawiono w tab. 4. Porównując wyniki MPZ zastosowanej dla wszystkich elementów systemu ($n = n_d + 2 = 16$) i tylko dla obiektów domowych ($n_d = 14$), stwierdzono, że w drugim przypadku wielkości błędów procentowych wartości $EN(n;k)$ i $K_u(n;k)$ w MPCz są mniejsze.

Kolejnym krokiem było zastosowanie wzoru (7) i wyznaczenie wartości $EN'(n = 16;k)$. Rezultaty zestawiono w tab. 5. W ostatnim wierszu tabeli dla porównania podano błędy procentowe uzyskane wcześniej (tab. 3.) z zastosowaniem MPCz dla wszystkich elementów systemu ($n = 16$).

Tabela 4. Zestawienie wybranych wyników obliczeń kanalizacji podciśnieniowej MPCz i MPZ przy uwzględnianiu jedynie „obiektów domowych” ($n = n_d = 14$)

Table 4. Results of calculations for a vacuum sewer system using MPCz and MPZ, if only „household objects” ($n = n_d = 14$) are considered

$k \leq$	$EN(14;k) [\%Q_n]$	$b\{EN(14;k)\}$	$K_u(14;k)$	$b\{K_u(14;k)\}$
0	0,00%	100%	1	11,10%
1	2,54%	74,58%	0,975	8,29%
2	6,21%	37,87%	0,938	4,21%
3	8,66%	13,39%	0,913	1,49%
4	9,66%	3,42%	0,903	0,38%
5	9,94%	0,65%	0,901	0,07%
6	10,00%	0,00%	0,9	0,00%
7	10,00%	0,01%	0,9	0,00%
		...		
14	10,00%	0%	0,9	0%

Tabela 5. Wartości średniego niedoboru wyznaczonego za pomocą wzoru (7)

Table 5. Average shortages as determined by the formula (7)

$k \leq$	$EN'(16;k) [\%Q_n]$ wg (7)	$b\{EN'(16;k)\}$	$b\{EN(16;k)\}$
1	21,06%	22,29%	100%
2	24,03%	11,32%	77%
3	26,02%	4,00%	42%
4	26,82%	1,02%	16,10%
5	27,05%	0,19%	4,50%
...			
16	27,10%	0%	0%

Jak widać, przy uzupełnieniu średnich niedoborów uzyskanych z „obiektów domowych” ($n = n_d = 14$) o niedobory generowane przez dwa obiekty główne (KP, SP) za pomocą wzoru (7), oprócz znacznego ograniczenia pracochłonności metody uzyskuje się znaczną poprawę dokładności wyników $EN(MPCz)$. W praktyce może to mieć decydujące znaczenie w wyborze sposobu przeprowadzania obliczeń.

5. Wnioski

1. Spostrzeżenia i wnioski uzyskane po przeprowadzeniu obliczeń dla SK podciśnieniowej są zbieżne z wnioskami otrzymanymi dla systemu kanalizacji grawitacyjnej rozważanego w pracy [2].
2. Dla analizowanych systemów kanalizacyjnych (tj. kanalizacji grawitacyjnej [2] i podciśnieniowej) przeprowadzono obliczenia za pomocą symulacji Monte-Carlo i metody przeglądu częściowego (MPCz). Wyniki dokładne (kontrolne) uzyskano za pomocą metody przeglądu zupełnego (MPZ). Celem było wyciągnięcie wniosków o dokładności metod przybliżonych i ich rzeczywistej pracochłonności, czyli o możliwości stosowania i upraszczania wymienionych metod w praktyce.
3. Podczas symulacji metodą Monte-Carlo można zauważyć, że wraz ze wzrostem wartości liczby elementów systemu (n_e) rośnie również liczba symulacji I(M-C) konieczna do uzyskania zadowalającej dokładności wyników. Liczba I(M-C) w konkretnym przypadku może również zależeć od struktury systemu i liczby tzw. elementów krytycznych, których uszkodzenie skutkuje dużym niedoborem.
4. Konsekwencją wzrostu n_e jest dłuższy czas obliczeń. Ocenia się, że dla wartości $n_e \leq 20$ z punktu widzenia kosztów prowadzenia obliczeń bardziej opłacalne jest zastosowanie MPZ, a dla $n > 20$ symulacji Monte-Carlo.

6. Podsumowanie

Obecnie w Polsce infrastruktura kanalizacyjna jest już znacznie rozbudowana. Dominują jednak przede wszystkim stare obiekty (nawet XIX-wieczne), co z pewnością rzutuje na ich stan techniczny. Dotychczas w dużym stopniu zostały rozpoznane rodzaje, przyczyny i skutki uszkodzeń sieci kanalizacyjnych, określono też wartości niektórych miar niezawodności elementów sieci [4-6]. Jednak badania eksploatacyjne nie były prowadzone w wystarczającym zakresie i powinny być nadal kontynuowane. Podobnie powinny być kontynuowane prace związane z metodami wyznaczania miar niezawodności i bezpieczeństwa tych obiektów. Dotychczas oprócz wielu prac prezentujących wyniki empirycznych miar niezawodności pojawiły się prace dotyczące metod badań tych systemów. Informacje o stanie i kierunkach realizowanych prac w tym zakresie omówiono w publikacjach [3, 4]. Jednak znane i stosowane dotychczas metody nie spełniają wszystkich kryteriów przydatności, albo są zbyt pracochłonne i trudne w praktycznych zastosowaniach, albo po ich uproszczeniu nie pozwalają na ocenę błędu metody. Bez względu na wybór metody dokonywanie uproszczeń oznacza ryzyko przyjęcia wartości K , EN lub K_u obarczonych nieznanym, a więc potencjalnie możliwym dużym błędem. Zawsze należy dążyć do uzyskania oszacowania błędu, który można „obronić” i który jest przydatny podczas dalszych analiz i podejmowania decyzji (często strategicznych). Dlatego do wyznaczania miar K , EN oraz K_u zaleca się stosować metody przeglądu częściowego z możliwością sterowania dokładnością obliczeń. W dobie wszechobecnych komputerów i powszechnego stosowania EXCEL-a naturalne wydaje się stosowanie tych narzędzi do oprogramowania metod bez dokonywania zbędnych uproszczeń, a z wystarczającą lub nawet maksymalną dokładnością. Można wprawdzie powiedzieć, że przy znacznej niepewności danych wejściowych (tu: parametrów niezawodnościowych poszczególnych elementów systemu) nie warto stosować zbyt wyrafinowanych metod, bo wynik i tak nie będzie całkiem wiarygodny. Jednak o ile istnieją możliwości zastosowania lepszych metod, to zawsze warto usunąć przynajmniej tzw. błąd metody. Należy mieć na uwadze również to, że w niedalekiej przyszłości może się uda usunąć przynajmniej część niepewności tkwiących w danych eksploatacyjnych.

Niniejsza publikacja, podobnie jak praca [2], dotyczy skuteczności analizowanych wymienionych metod, jednak nadrzędnym celem jest znalezienie lepszej metody – dokładnej i o niewielkiej pracochłonności. Nie można tego dokonać, nie znając metod „od podszewki”, i choć etap ten wiązał się z dużą pracochłonnością, to uzyskane wnioski i pewne zależności są istotne i mogą być bardzo pomocne. Wszak *nemo sapiens nisi patiens*, czyli „nie jest mądry kto nie

jest cierpliwy”. Rezultaty prac prowadzonych w kierunku uzyskania prostej metody analitycznej są obiecujące.

Literatura

- [1] Bobrowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
- [2] Iwanejko R., Bajera J.: Rozważania o wybranych metodach wyznaczania niezawodności systemu kanalizacji grawitacyjnej. *Journal of Civil Engineering Environment and Architecture*, z. 62, nr 1/15, s. 109-124.
- [3] Królikowska J.: Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Monografia 382, seria: Inżynieria Środowiska, Kraków 2010.
- [4] Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej. Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa 2010.
- [5] Kwietniewski M., Leśniewski M., Liszta-Kruk K., Trymucha J., Zając A.: Ocena awaryjności sieci kanalizacyjnych na podstawie badań wybranych systemów. *Mat. V Ogólnopolskiej Konferencji „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowo-kanalizacyjnych”*, Ustroń 2004, s. 249-261.
- [6] Mikszta-Kruk K.: Analiza niezawodności kanalizacji podciśnieniowej na podstawie badań eksploatacyjnych wybranych systemów. Politechnika Warszawska, Warszawa 2006 (rozprawa doktorska).

DISCUSSION ON THE RELIABILITY OF A VACUUM SEWER SYSTEM

Summary

The article continues a discussion on the arguments presented in [2], where a mathematical basis of the Monte-Carlo methods and the review methods of the system operation status were described as well as their use to determine the reliability measures EN and K_u for simple gravity systems. This article presents how the above methods can be applied to determine the same measures for a simple vacuum sewer system. In both cases, the process is similar. The only difference is how the shortages for individual reliability statuses are determined, which is specific for a particular type of a sewage system. In a gravity sewer, failure of any element eliminates all the items located at the same section of a sewer and cuts off a sewage discharge from the catchment area above the damaged item. In a vacuum sewer system, failure of some elements holds back a sewage discharge from one object only, while failure of others components cause that the entire system is out of operation. Assuming that a sewage volume depends on the number of sewage system users, it was possible to determine a distribution of both a number of houses and a wastewater volume. This way the model has become significantly simplified. The article describes different analyses than had been used for a gravity sewer study, though the conclusions for a vacuum sewer system were the same as for a gravity sewer. Both articles deal with the effectiveness of the analysed methods, however, the overriding goal is to find a better method – the accurate one and not time consuming

as well as to achieve the best results, which would be useful for further analysis and strategic decision making.

Keywords: reliability measures, Monte-Carlo method, the review methods, failures, vacuum sewer system

Przesłano do redakcji: 15.01.2015 r.

Przyjęto do druku: 28.03.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.9