

Ryszarda IWANEJKO¹
Jarosław BAJER²

APLIKACJA METODY KUMULACJI NIEDOBORÓW DO WYZNACZANIA ŚREDNIEJ ILOŚCI NIEODPROWADZONYCH ŚCIEKÓW DLA SYSTEMU KANALIZACJI MIESZANEJ

Jedną z miar charakteryzujących niezawodność sieci kanalizacyjnej jest średnia ilość nieodprowadzonych ścieków EN. Dotychczas wartość tę wyznaczano za pomocą metod przeglądu. Uwzględnienie w obliczeniach wszystkich elementów systemu kanalizacyjnego jest praktycznie niemożliwe. Jeśli dokonuje się dużego uproszczenia schematu sieci kanalizacyjnej to przy niewielkiej liczbie kanałów można stosować metodę przeglądu zupełnego (MPZ). Jeśli jednak uproszczenie schematu sieci kanalizacyjnej nie było zbyt duże, to stosuje się metodę przeglądu częściowego (MPCz). W obu przypadkach uzyskuje się jedynie przybliżone wartości EN. W pierwszym przypadku zaniżenie wartości EN wynika z pominięcia części elementów. W drugim, zawyżenie wartości EN wynika z ograniczenia liczby równoczesnych uszkodzeń w systemie. Popelnianego błędu na ogół się nie szacuje, co oznacza, że uzyskany wynik jest niewiarygodny i mało przydatny. Decyzja podjęta na podstawie przybliżonej, o nieznanym dokładności wartości EN może być błędna i w skrajnym przypadku może doprowadzić do utraty bezpieczeństwa. W artykule przedstawiono aplikację nowej, lecz prostej analitycznej metody kumulacji niedoborów (MKN), służącej do wyznaczania średniej ilości ścieków nieodprowadzonych przez system kanalizacyjny. Obliczenia przeprowadzono dla systemu kanalizacji mieszanej podciśnieniowo-grawitacyjnej. Wynik EN uzyskany za pomocą MKN jest zgodny z wynikiem uzyskanym za pomocą MPZ. Dodatkowo przedstawiono uwagi o dokładności wyników miar średniej ilości nieodprowadzonych ścieków EN oraz uogólnionego wskaźnika niezawodności K_u , uzyskanych za pomocą MPCz.

Słowa kluczowe: kanalizacja, niezawodność, metoda kumulacji niedoborów, metody przeglądu

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Ryszarda Iwanejko, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 12 628 2552, riw@vistula.wis.pk.edu.pl

² Jarosław Bajer, Instytut Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 12 628 2877, bajerp@gmail.com

1. Wprowadzenie

Systemy kanalizacyjne (SK) wchodzi w skład strategicznej infrastruktury miejskiej. Swoje zadania odprowadzania z danego terenu ścieków powinny wypełniać z wysoką niezawodnością. Zawodność ich działania ma negatywne skutki zarówno dla mieszkańców skanalizowanego terenu jak też dla środowiska naturalnego. Dlatego bardzo ważna jest umiejętność oceny działania tych systemów. Zdaniem wielu ekspertów badania dotyczące m.in. metod wyznaczania niezawodności SK wymagają dalszego rozwoju [4, 5]. Pierwsze badania prowadzone przez autorów zmierzające do opracowania nowej metody wyznaczania EN dla systemów kanalizacyjnych przedstawiono w pracach [2, 3]. Przedstawione tam badania doprowadziły do opracowania nowej, oryginalnej metody kumulacji niedoborów (MKN), która została szczegółowo przedstawiona w [1]. Obecnie MKN jest istotnym ułatwieniem przy wyznaczaniu średniej (inaczej: przewidywanej) ilości nieodprowadzonych ścieków (EN). W tym artykule zostanie przedstawiona aplikacja tej metody dla systemu kanalizacji mieszanej. Bardziej rozbudowany przykład metodyczny potwierdził nie tylko skuteczność, ale też i prostotę MKN. Dodatkowo zwrócono uwagę na dokładność wyników średniej ilości nieodprowadzonych ścieków EN i uogólnionego wskaźnika niezawodności K_u uzyskanych za pomocą metody przeglądu częściowego (MPCz).

2. Idea metody kumulacji niedoborów

W artykule [1] przedstawiono teoretyczne podstawy nowej, oryginalnej metody służącej do wyznaczania średniej ilości nieodprowadzonych ścieków EN. Wielkość tę przez analogię do systemów wodociągowych nazywa się też czasem krótko średnim niedoborem. Opracowanie metody kumulacji niedoborów (MKN) wymagało innego niż dotychczas podejścia do wyznaczania średniej ilości nieodprowadzonych ścieków EN, gdyż w MKN odchodzi się od idei generowania stanów elementarnych systemu na rzecz przeprowadzenia tzw. „zwijania” systemu (określenie to zostanie objaśnione później).

Dla systemu kanalizacji grawitacyjnej (SKG) obliczenia rozpoczyna się od najmniejszych kanałów będących równocześnie elementami początkowymi w drzewiastej strukturze kanalizacji. Te elementy są traktowane jako tzw. elementy podrzędne albo zwykłe, czyli takie, których niesprawność powoduje brak odpływu ścieków z tych elementów. Kanały, które mają za zadanie odbiór ścieków z podłączonych do nich mniejszych kanałów są traktowane jako tzw. elementy nadrzędne albo krytyczne. Ich niesprawność, bez względu na stany elementów podrzędnych, powoduje wyłączenie ich z pracy i powstanie sumarycznego dużego niedoboru. Jeśli przez „i” oznaczymy element nadrzędny dla elementów „j” oraz „j”, to z elementem „m” można wyznaczyć tzw. niedobór skumulowany $EN_s(m)$, który zgodnie z wzorem na prawdopodobieństwo zupeł-

ne będzie sumą ważoną niedoborów dla dwóch przypadków: gdy element nadrzędny „m” będzie sprawny, oraz gdy element nadrzędny będzie niesprawny. Ogólne wzory dla tego kroku zestawiono w tabeli 1. We wzorach zamieszczonych w tabeli przez Q_c oznaczono przepływ całkowity przez dany element a przez K – wartość stacjonarnego wskaźnika gotowości elementu. Zamieszczone tu wzory, oparte na wzorach objaśnionych szczegółowo w [1] zostały podane w uproszczonej, mniej sformalizowanej postaci, tak aby metodę przedstawić w jak najbardziej przystępny sposób.

Tabela 1. Wyznaczanie średniego niedoboru skumulowanego dla elementu „m” nadrzędnego dla elementów podrzędnych „i” oraz „j”

Table 1. Average cumulative deficit for “m” element superior to inferior elements “i” and “j”

Element		Stan elementu	Prawdopodobieństwo	Niedobór w danym stanie	Średni niedobór
zwykły	nadrzędny				
„i”		+	$K(i)$	0	$EN(i) = Q_c(i) \cdot [1 - K(i)]$
		-	$1 - K(i)$	$Q_c(i)$	
„j”		+	$K(j)$	0	$EN(j) = Q_c(j) \cdot [1 - K(j)]$
		-	$1 - K(j)$	$Q_c(j)$	
	„m”	+	$K(m)$	$EN(i) + EN(j)$	$EN_s(m) = [EN(i) + EN(j)] \cdot K(m) + Q_c(m) \cdot [1 - K(m)]$
		-	$1 - K(m)$	$Q_c(m)$	

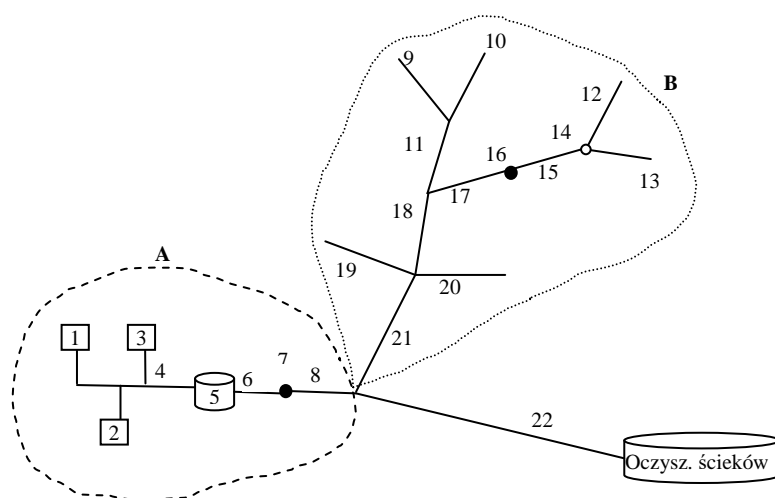
Następne kroki obliczeń wykonywane dla kolejnych elementów są analogiczne. Jako nowy element nadrzędny przyjmuje się kanał o większej średnicy leżący poniżej dotychczasowego elementu nadrzędnego. Natomiast element, który w poprzednim kroku był elementem nadrzędnym staje się elementem zwykłym. Równocześnie dochodzi zazwyczaj jeden nowy element podrzędny. Jak widać, w kolejnych krokach należy wykonywać analogiczne obliczenia.

Dla systemu kanalizacji podciśnieniowej (SKP) postępowanie jest analogiczne. Jako elementy zwykłe (podrzędne) należy uznać pojedyncze obiekty domowe, a jako elementy krytyczne (nadrzędne) kolektor podciśnieniowy (KP), stację próżniową (SP) oraz kanał (przewód) ciśnieniowy (KC) wychodzący ze stacji próżniowej. Jako obiekt domowy rozumie się tutaj podłączenie kanalizacyjne budynku, które poprzez studzienkę zbiorczą z zawodem opróżniającym jest połączone z siecią podciśnieniową.

3. Opis systemu kanalizacji mieszanej przyjętego do przykładu metodycznego

Jako system kanalizacji stanowiący podstawę do przykładu metodycznego, ilustrującego sposób wyznaczania średniej ilości nieodprowadzonych ścieków metodą skumulowanych niedoborów, przyjęto system mieszany (rys. 1), obejmujący

mający generalnie dwa podsystemy - kanalizacji podciśnieniowej (A) oraz kanalizacji grawitacyjnej (B). Ścieki sanitarne odbierane są z nich zbiorczym kanałem grawitacyjnym (kanałem głównym - KG), który nie zbiera już ścieków na swojej długości, i są odprowadzane do oczyszczalni ścieków (OŚ). W obu tych podsystemach, oprócz elementów dla nich charakterystycznych, uwzględniono także elementy kanalizacji ciśnieniowej, co w zamierzeniu autorów miało pokazać, że i dla tego rodzaju kanalizacji sposób prowadzenia obliczeń niezawodnościowych MKN jest taki sam jak dla dwóch pierwszych. Poniżej scharakteryzowano pokrótce oba wyróżnione podsystemy wraz z ich ciśnieniowymi elementami:



Rys.1. Schemat przykładowego systemu kanalizacji mieszanej; 1,2,3 – obiekty domowe, 4 – przewód podciśnieniowy, 5 – stacja próżniowa, 6 – przewód ciśnieniowy, 7 – komora rozprężna, 8 ÷ 13 - kanały grawitacyjne, 14 – przepompownia ścieków, 15 – kanał ciśnieniowy, 16 – studnia rozprężna, 17 – 21 – kanały grawitacyjne, 22 – kolektor główny grawitacyjny

Fig.1. Mixed sewer system: 1,2,3 – household facilities, 4 - vacuum line, 5 – vacuum station, 6 – pressure line, 7- decompression tank, 8 ÷ 13 – gravity channels, 14 – pump station, 15- pressure channel, 16 – decompression manhole, 17 – 21 gravity channels, 22 – gravity main

Podsystem A kanalizacji podciśnieniowej (rys. 1).

Podsystem ten, odprowadzający ścieki z terenu płaskiego, składa się z zdefiniowanych wcześniej tzw. obiektów domowych (1,2,3), z których poprzez kanał podciśnieniowy (4) ścieki dostają się do „serca układu” czyli stacji próżniowej (5), a z niej przewodem ciśnieniowym (6) tłoczone są do komory rozprężnej (7). Dalej już kanałem grawitacyjnym (8) odprowadzane są do miejsca podłączenia do kanału głównego (22).

Podsystem B kanalizacji grawitacyjnej (rys. 1).

Generalnie podsystem ten stanowi sieć kanałów grawitacyjnych (9-13 i 17-21) odprowadzających ścieki z zaznaczonego obszaru, obniżającego się w kierunku oczyszczalni, jednakże niejednolite zróżnicowanie wysokościowe zlewni tego

podsystemu (obniżenie terenu kanalizowanego przez odcinki 12 i 13) wymaga zastosowania przepompowni ścieków (14). Stanowi ona początkowy element fragmentu kanalizacji ciśnieniowej, której kolejnymi są przewód ciśnieniowy (15) oraz studnia rozprężna (16). Ze studni rozprężnej, ścieki spływają już dalej grawitacyjnie aż do miejsca podłączenia do kanału głównego (22).

Charakterystyki elementów omawianego systemu kanalizacyjnego, w którym co należy zaznaczyć, nie uwzględniono studzienek połączeniowych i studzienek kontrolnych, zestawiono w tabelach 2 i 3. Przez Q_{di} oznaczono dopływ do „i”-tego elementu, przez Q_{ci} - przepływ całkowity przez dany element, a przez Q_n – przepływ nominalny. Jako niezawodności elementów systemu przyjęto K_i stacjonarne wskaźniki gotowości tych elementów. Wartości te przyjęto na poziomie zbliżonym do podawanych w literaturze [4, 5, 6].

Tabela 2. Charakterystyki elementów podsystemu A analizowanego systemu kanalizacji

Table 2. Elements of the A sub-system in the analyzed sewage system

Opis	Podsystem A							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Element „i”	1	2	3	4	5	6	7	8
$Q_{di} [\%Q_n]$	7	8	5	0	0	0	0	0
$Q_{ci} [\%Q_n]$	7	8	5	20	20	20	20	20
K_i	0,93	0,93	0,93	0,99	0,999	0,96	0,97	0,95

Tabela 3. Charakterystyki elementów podsystemu B oraz kolektora głównego (KG) analizowanego systemu kanalizacji

Table 3. Elements of the B sub-system and the main (KG) of the analyzed sewage system

Opis	Podsystem B												KG	
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		21
Element „i”	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$Q_{di} [\%Q_n]$	3	7	4	6	10	0	0	0	12	8	6	15	9	0
$Q_{ci} [\%Q_n]$	3	7	14	6	10	16	16	16	28	50	6	15	80	100
K_i	0,95					0,96				0,95				0,96

W dalszej części, jako kryterium sprawności SK przyjęto, że ilość ścieków, która musi zostać odprowadzona z całego skanalizowanego terenu wynosi Q_n .

4. Zastosowanie MKN

Obliczenia należy prowadzić oddzielnie: najpierw dla podsystemów A i B, a następnie dla kolektora głównego.

Obliczenia dla podsystemu A

Choć w tym przykładzie zwykłych (podrzędnych) elementów KP jest niewiele, bo łącznie 3 obiekty domowe (rys.1), to w rzeczywistości może ich być dużo więcej. Zgodnie z uzasadnionymi w pracy [1] wzorami, wynikającymi z wła-

sności addytywności wartości oczekiwanej, można dla elementów zwykłych od razu wyznaczyć ich łączny niedobór skumulowany. W analizowanym przykładzie wyniesie on

$$EN_s(3) = \sum_{i=1}^3 EN(i) = \sum_{i=1}^3 Qc(j) \cdot [1 - K(j)] \quad (1)$$

Kolejnymi elementami podsystemu A są kolektor podciśnieniowy, stacja próżniowa, przewód ciśnieniowy, komora rozprężna oraz przewód grawitacyjny (rys.1). Jak widać są to wszystko elementy krytyczne o zerowym dopływie (Q_d) i takim samym dla wszystkich elementów przepływie całkowitym (Q_c). W obliczeniach można je umownie potraktować jako jeden element o niezawodności $K(4-8) = \prod_{i=4}^8 K(i)$ i przepływie $Q_c(4-8) = Q_c(4) = \dots = Q_c(8) = \sum_{i=1}^3 Q_d(i)$. Zgodnie z wzorem na prawdopodobieństwo zupełne można podać uproszczony wzór na średni niedobór skumulowany

$$EN_s(I) = EN_s(3) \cdot K(4-8) + Q_c(4-8) \cdot [1 - K(4-8)] \quad (2)$$

Obliczenia dla podsystemu B i kolektora głównego

W obliczeniach należy uwzględnić elementy o numerach 9-22 (rys.1). Przy większej liczbie elementów obliczenia najlepiej prowadzić tabelarycznie (tab.4). Dla uproszczenia, podobnie jak powyżej, elementy o numerach od 14 do 17 (włącznie) potraktowano umownie jako jeden element o niezawodności $K(14-17) = K(14) \cdot K(15) \cdot K(16) \cdot K(17)$ i przepływie $Q_c(14-17) = Q_c(17)$.

Obliczenia $EN(SK)$, czyli średniej ilości ścieków nieodprowadzonych przez cały system kanalizacyjny SK, prowadzono kolejnymi krokami. Każdy z nich polegał na wyznaczeniu średniego skumulowanego niedoboru EN_s dla jakiegoś fragmentu sieci, dla którego zidentyfikowano elementy zwykłe i element nadrzędny.

W następnym kroku dotychczasowy element nadrzędny stawał się elementem zwykłym, uwzględniano dodatkowy równorzędny element zwykły (jeden lub kilka) oraz nowy element nadrzędny. W ten sposób dokonywano niejako „zwijania” drzewiastej struktury SK począwszy od jej początku (w aspekcie działania) aż do elementu końcowego, którym był kolektor grawitacyjny KG. Zwijaniu drzewa SK towarzyszyło uwzględnianie w kolejnych krokach obliczania wartości niedoborów skumulowanych EN_s tj. uwzględniających średnie niedobory generowane przez elementy uwzględnione wcześniej.

Jak widać metoda jest prosta i logiczna. Liczba wykonywanych operacji jest wprost proporcjonalna do liczby elementów całego systemu.

Tabela 4. Ilustracja przebiegu obliczania wartości ilości nieodprowadzonych ścieków EN(SK) [%Qn] dla podsystemu B i kolektora głównego analizowanego systemu kanalizacji za pomocą metody kumulacji niedoborów MKN

Table 4. Not discharged wastewater volume EN (SK) [%Qn] for B sub-system and the main of the analyzed sewage system, according to the cumulative deficit method MKM

Krok	Element		Średni niedobór [%Qn]
	podrzędny	nadrzędny	
Obliczenia dla podsystemu B			
1	9		$EN(9)=Qc(9) \times [1-K(9)]=0,15$
	10		$EN(10)=Qc(10) \times [1-K(10)]=0,35$
		11	$EN_s(11)=[EN(9)+EN(10)] \times K(11)+Qc(11) \times [1-K(11)]=1,175$
2	12		$EN(12)=Qc(12) \times [1-K(12)]=0,3$
	13		$EN(13)=Qc(13) \times [1-K(13)]=0,5$
		14-17	$EN_s(14-17)=[EN(12)+EN(13)] \times K(14-17)+Qc(14-17) \times [1-K(14-17)]=4,898$
3	11		$EN_s(11)=1,175$
	14-17		$EN_s(14-17)=4,989$
		18	$EN_s(18)=[EN_s(11)+EN_s(14-17)] \times K(18)+Qc(18) \times [1-K(18)]=8,269$
4	18		$EN_s(18)=8,269$
	19		$EN(19)=Qc(19) \times [1-K(19)]=0,3$
	20		$EN(20)=Qc(20) \times [1-K(20)]=0,75$
		21	$EN_s(21)=[EN_s(18)+EN(19)+EN(20)] \times K(21)+Qc(21) \times [1-K(21)]=12,853$
Obliczenia dla kolektora grawitacyjnego KG			
5	A		$EN_s(A)=3,727$
	B		$EN_s(B)=EN_s(21)=Qc(21) \times [1-K(21)]=12,853$
		22	$EN_s(22)=[EN_s(A)+EN_s(B)] \times K(22)+Qc(22) \times [1-K(22)]=\mathbf{19,9165}$

5. Zastosowanie MPZ

Wynik uzyskany powyżej za pomocą MKN poddano weryfikacji za pomocą metody przeglądu zupełnego (MPZ). W tym celu za pomocą specjalnie napisanej procedury w EXCEL-u wygenerowano stany elementarne systemu. W analizowanym przypadku dokonano pewnego uproszczenia, które pozwoliło na znaczną redukcję liczby stanów elementarnych. Dla $n=22$ elementów należałoby wygenerować $I=2^{22}=4194304$ stanów elementarnych, które zajęłyby wszystkie wiersze

czterech arkuszy jednego skoroszytu MS OFFICE'a 2010. Wykorzystano fakt, że następujące kolejno po sobie elementy krytyczne tworzą niezawodnościową strukturę szeregową. Te elementy zastąpiono jednym elementem. W podsystemie A zgrupowano w ten sposób elementy o numerach 4-8, a w odsystemie B o numerach 14-16. Dzięki temu uproszczeniu zredukowano liczbę elementów do $n'=16$, a w rezultacie uzyskano mniejszą liczbę stanów do generowania równą $I'=2^{16}=65536$. Dla każdego z tych stanów wyznaczono prawdopodobieństwo zajścia oraz ilość nieodprowadzonych ścieków (umownie: niedobór). Sumując wszystkie iloczyny tych wartości uzyskano dokładną wartość wielkości nieodprowadzonych ścieków równą $EN(SK)=19,9165\%Q_n$. Jak widać, obie metody, tj. MKN i MPZ, dały ten sam dokładny wynik, jednak pracochłonność MKN była nieporównywalnie niższa. Dysponując tabelą MPZ przeprowadzono dodatkowo dwie analizy.

Celem pierwszej analizy było sprawdzenie, jak zmienia się wartość $EN(SK)$ wraz ze zmianą liczby równoczesnych uszkodzeń (k) w przybliżonej metodzie przeglądu częściowego (MPCz). Wyniki uzyskane przy uwzględnianiu nie więcej niż k uszkodzeń równocześnie, oznaczone przez $EN(SK,k)$ wraz z błędami procentowymi zestawiono w tabeli 5. W tej tabeli zawarto też wyniki obliczeń innej miary niezawodności systemu kanalizacyjnego. Należy tu wspomnieć, że na podstawie średniej ilości nieodprowadzonych ścieków EN wyznacza się drugą miarę niezawodności systemu. Jest to tzw. uogólniony wskaźnik niezawodności K_u , wyznaczany jako $K_u = 1 - EN/Q_w$, gdzie Q_w – ilość ścieków, którą należy odprowadzić, aby uznać, że system kanalizacji jest sprawny. Miarę K_u interpretuje się jako stopień spełniania wymagań przez system. Jak widać, dla przyjętych danych, przy stosowaniu MPCz, dokładność dla EN nie przekraczającą 5% uzyskuje się dopiero dla $k \leq 3$, co wymagało uwzględnienia 1794 stanów elementarnych systemu. Jednocześnie można zauważyć, że względne błędy miary K_u są około czterokrotnie niższe od względnych błędów EN . Można więc się zastanawiać nad celowością wykorzystywania wartości K_u podczas podejmowania decyzji.

Tabela 5. Obliczenia średniej ilości nieodprowadzonych ścieków $EN(SK)$ [% Q_n] za pomocą MPCz wraz z oceną popełnianego błędu

Table 5. The average volume of not discharged wastewater $EN(SK)$ [% Q_n] according to MPCz, including error estimation

	k - liczba uwzględnianych równoczesnych uszkodzeń w MPCz					
	k=0	k≤1	k≤2	k≤3	k≤4	k≤22
Liczba stanów elementarnych MPCz	1	23	254	1794	9109	2 ²²
$EN(MPCz; k)$ [% Q_n]	0	8,51	16,00	19,03	19,78	19,9165
Błąd względny $EN(MPCz; k)$	100%	57,3%	19,7%	4,4%	0,7%	0%
$K_u(MPCz; k)$	1	0,9149	0,83998	0,8097	0,8022	0,800835
Błąd względny $K_u(MPCz; k)$	-24,9%	-14,2%	-4,9%	-1,1%	-0,2%	0%

Celem drugiej analizy było sprawdzenie, jak zmieniłaby się średnia ilość nieodprowadzonych ścieków EN(SK), gdyby system kanalizacji został uproszczony. Jeśli zostałyby pominięte elementy, w których przepływ nie przekracza 5% Qn (tj. elementy o numerach 3 i 9), to uzyskanoby wynik $EN=26,17\% Q_n$. Natomiast, gdyby pominięto elementy, w których przepływ nie przekracza 10% Qn (tj. dodatkowo elementy o numerach 1, 2, 10, 12, 13 i 19), to uzyskanoby wynik $EN=59,74\% Q_n$. Jak widać, zbytne upraszczanie struktury systemu kanalizacyjnego generuje bardzo duże błędy, których nie potrafimy oszacować. Podejmowanie jakichkolwiek decyzji na podstawie tak uzyskanych, mocno zafałszowanych wartości EN jest niebezpieczne.

6. Wnioski

- Systemy kanalizacji grawitacyjnej i podciśnieniowej mają podobną strukturę drzewiastą. Wygodną miarą niezawodności tych systemów jest EN czyli średnia ilość nieodprowadzonych ścieków.
- W artykule zaprezentowano sposób wyznaczania EN przez złożony system kanalizacji mieszanej za pomocą dwóch dokładnych metod: klasycznej metody przeglądu zupełnego (MPZ) i nowej, oryginalnej metody kumulacji niedoborów (MKN) [1].
- Uzyskano idealną zgodność wyników EN uzyskanych za pomocą MKN oraz MPZ.
- Pracochłonność, a przede wszystkim czasochłonność MPZ była bardzo duża, gdyż jej zastosowanie wymagało wygenerowania wszystkich stanów elementarnych systemu, których liczba rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem liczby elementów systemu.
- Drugą trudnością przy realizacji MPZ, oprócz konieczności wygenerowania wszystkich stanów systemu, była konieczność uwzględnienia struktury systemu, czyli określenie reguł do wyznaczania niedoborów w tych stanach. Zrealizowano to przy pomocy odpowiedniej procedury napisanej w Excelu, przy czym samo generowanie stanów, nawet przy korzystaniu z komputera o odpowiednich możliwościach, trwało stosunkowo długo.
- Uzyskanie wyniku za pomocą MKN było proste i możliwe do zrealizowania za pomocą najprostszego kalkulatora.
- Liczba wykonanych działań w MKN jest proporcjonalna do liczby elementów systemu.
- MKN nie wprowadza ograniczeń na liczbę elementów systemu kanalizacyjnego.
- Nowa metoda kumulacji niedoborów jest prosta i logiczna. W praktyce inżynierskiej może być z powodzeniem stosowana dla wszystkich rodzajów kanalizacji sanitarnej, a po jej modyfikacji także dla kanalizacji grawitacyjnej ogólnospławnej.
- Niska pracochłonność i dokładność MKN oznaczają jej dużą użyteczność.
- Przedstawiony w pracy przykład metodyczny wyjaśnia ideę metody, pokazuje algorytm jej stosowania oraz potwierdza jej liczne zalety (prostotę, przejrzystość, wysoką dokładność, małą praco- i czasochłonność).

Literatura

- [1] Iwanejko R.: Nowa analityczna metoda do wyznaczania średniej ilości nieodprowadzonych ścieków dla systemów kanalizacji podciśnieniowej i grawitacyjnej, JCEEA, t. XXXII, z. 62 (3A/15), lipiec-wrzesień 2015, s. 169-187.
- [2] Iwanejko R., Bajer J., Rozważania o wybranych metodach wyznaczania niezawodności systemu kanalizacji grawitacyjnej, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA tom XXXII, zeszyt 62 (nr 1/2015), ss.107-124, 2015.
- [3] Iwanejko R., Bajer J., Rozważania o wybranych metodach wyznaczania niezawodności systemu kanalizacji podciśnieniowej, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA tom XXXII, zeszyt 62 (nr 1/2015), ss.125-136, 2015.
- [4] Królikowska J., Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Monografia 382. Seria Inżynieria Środowiska. Kraków, 2010.
- [5] Kwietniewski M., Rak J., Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. Warszawa, 2010.
- [6] Miszta-Kruk K, Analiza niezawodności kanalizacji podciśnieniowej na podstawie badań eksploatacyjnych wybranych systemów, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2006.

METHOD OF CUMULATIVE DEFICITS USED TO DETERMINE THE AVERAGE VOLUME OF WASTEWATER NOT DISCHARGED TO MIXED SEWER

Summary

The average amount of wastewater that has not been discharged (EN) to a sewage system is a measure characterizing system reliability. So far, this value was determined using the review methods, through it is virtually impossible to analyze in calculations all elements of the sewage system. If a major simplification of a sewage system is carried out the method of a complete review (MPZ) may be used for a small number of channels. However, in order not to oversimplify the sewage system a method of partial review may be used (MPCz). In both cases only approximate values of EN are obtained. In the first case, undervaluation of EN results in omission of some elements, while in the second one an increased value of EN is caused by limits on the number of simultaneous failures in the system. Errors are generally not estimated, which means that the result is unreliable and of little use. Hence, the decisions made on the basis of the approximated EN value may be incorrect and can lead to a security loss. The article presents the new and simple analytical method for the cumulative deficits (MKN), used to determine the average volume of wastewater not discharged to the sewer system. Calculations have been performed for mixed sewer system (vacuum/gravity). The resulting EN value obtained using MKN is consistent with the result obtained using MPZ. In addition, the authors present a discussion on the accuracy of the average volume of not discharged wastewater EN and a general reliability index Ku, obtained using MPCz.

Keywords: drainage, reliability, method of cumulative deficits, the review method

Przesłano do redakcji: 30.05.2015 r.

Przyjęto do druku: 30.10.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.103