

Ryszarda IWANEJKO¹

KOLEJNE SPOJRZENIE NA WARTOŚĆ OCZEKIWANĄ NIEDOBORU WODY

Jedną z podstawowych miar niezawodności systemów wodociągowych jest średni niedobór wody w systemie ENs. Stanowi on podstawę do wyznaczenia innej miary niezawodności tzw. uogólnionego wskaźnika niezawodności Ku. Miara Ku jest interpretowana jako stopień spełnienia wymagań przez system. Tradycyjnie wartość parametru ENs wyznacza się tabelarycznie za pomocą metod przeglądu. W przypadku systemów o znacznej liczbie elementów konieczny jest kompromis pomiędzy dokładnością wyniku a pracochłonnością obliczeń. Najczęściej jednak w praktyce obliczenia ogranicza się do uwzględniania niewielkiej liczby równoczesnych uszkodzeń w systemie bez szacowania popełnianego błędu. Zawsze istnieje ryzyko, że niezany błąd będzie znaczny, a pominięcie go w analizach może skutkować podjęciem złej decyzji. W pracy przedstawiono wzory analityczne służące do wyznaczania wartości oczekiwanej niedoboru wody dla systemów wodociągowych z tzw. ograniczoną nadwyżką produkcji wody. Zostały one uzyskane poprzez dokonywanie przekształceń tradycyjnych wzorów wynikających z metody przeglądu zupełnego przy równoczesnym uwzględnieniu założenia o ograniczonej wielkości nadwyżki produkcji wody. Wyprowadzone formuły stanowią istotne uzupełnienie wzorów opracowanych przez innego autora dla tzw. systemów zrównoważonych [3]. Obydwa wzory pozwalają na uzyskanie dokładnej oceny średniej ilości wody niedostarczonej odbiorcom ENs przy niewielkim nakładzie pracy. Łatwość wyznaczenia ENs z jednej strony upraszcza przeprowadzanie analiz niezawodnościowych systemów wodociągowych i kanalizacyjnych, a z drugiej może przyczynić się do poszerzenia stosowalności miar ENs oraz Ku dla innych systemów i nadania im innych interpretacji wynikających ze specyfiki tych systemów.

Słowa kluczowe: niezawodność, uszkodzenie, średni niedobór wody, metody przeglądu, system zaopatrzenia w wodę, system z nadwyżką produkcji wody

1. Wprowadzenie

Rak w pracy [3] przypomniał historię wprowadzenia do podstawowych miar niezawodności systemów wodociągowych tzw. uogólnionego wskaźnika niezawodności Ku. Ten oryginalny globalny wskaźnik wywodzi się z „krakowskiej szkoły niezawodności” profesora Artura Wiczystego. Po raz pierwszy me-

¹ Ryszarda Iwanejko, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 12 6282552, riw@vistula.wis.pk.edu.pl

tość wyznaczania tej miary zaprezentowano w 1984 roku [6]. Miara Ku wyraża się wzorem $Ku = 1 - ENs/Qw$, gdzie ENs – oczekiwany niedobór wody w systemie, Qw – wymagana wydajność systemu, najczęściej równa wydajności nominalnej Qn. Średni niedobór ENs jest obliczany po wyznaczeniu stanów elementarnych systemu (*i*), prawdopodobieństw ich zajścia (Psi) oraz niedoborów wody w *i*-tych stanach systemu (Nsi) jako: $ENs = \sum_i Nsi \cdot Psi$. W obliczeniach

uwzględnia się zidentyfikowane na analizowanym poziomie dekompozycji systemu dwustanowe elementy systemu. W każdym *i*-tym stanie elementarnym systemu uwzględnia się kombinacje ich stanów zdatności i niezdatności. Miara Ku interpretowana jako stopień spełnienia wymagań przez system jest jedną z globalnych miar niezawodności systemu. Natomiast średni niedobór wody ENs stał się podstawą do wprowadzenia nowych miar: wartości oczekiwanej przekroczenia normy wskaźnika jakości wody [2, 4] oraz bezwzględnego ryzyka niedoboru wody [5]. Tym nowym analogicznym miarom można nadać nową interpretację i wykorzystać je w innych analizach. Jak sugeruje Rak [3], nowe zastosowania mogą mieć oczekiwane wartości innych wielkości, np. stężeń czy ładunków zanieczyszczeń, mocy ciepłej.

Wartość ENs wyznacza się za pomocą metod przeglądu. Stosuje się dokładną metodę przeglądu zupełnego (MPZ), jeśli liczba elementów systemu była niewielka, albo przybliżoną metodę przeglądu częściowego (MPCz), jeśli liczba elementów systemu była znaczna. W drugim przypadku ograniczenie liczby uwzględnianych stanów elementarnych pozwala na ograniczenie pracochłonności metody, lecz równocześnie wymagane jest oszacowanie błędu metody ε [1]. W praktyce najczęściej nie szacuje się tego błędu, zakładając, że pominięcie stanów elementarnych z dużą liczbą równoczesnych uszkodzeń (*k*) oznacza popełnienie niewielkiego błędu. W pracy [3] autor wskazał możliwość uproszczenia sposobu wyznaczania wartości ENs dla zrównoważonych systemów zaopatrzenia w wodę i zastąpienia metody tabelarycznej wzorami analitycznymi. Jak się okazuje, możliwe jest również wyznaczanie ENs dla pewnych systemów z nadwyżką produkcji. W niniejszej pracy przedstawiono stosowne wzory analityczne.

W dalszej części stosuje się następujące oznaczenia: *J* – liczba uwzględnianych dwuelementowych elementów działających i uszkodzających się niezależnie, *j* – numer elementu (*j* = 1, ..., *J*), *Q_j* – wydajność *j*-tego elementu, *K_j* – wartość stacjonarnego wskaźnika gotowości *j*-tego elementu, *N_j* – niedobór wynikający z niesprawności *j*-tego elementu, *Q_p* – możliwości produkcyjne systemu równe $Q_p = \sum_{j=1..J} Q_j$, ΔQ_p – nadwyżka mocy produkcyjnej w systemie zaopatrzenia

w wodę równa $\Delta Q_p = Q_p - Q_w$, gdzie *Q_w* – wymagana wydajność systemu, *Q_{si}* – możliwa wydajność systemu w *i*-tym stanie elementarnym, *N_{si}* – niedobór systemu w jego *i*-tym stanie elementarnym, *Psi* – prawdopodobieństwo zajścia *i*-tego stanu elementarnego, ENs – średni niedobór wody w systemie, EQs

– średnia wydajność systemu, k – liczba równoczesnych uszkodzeń w systemie ($k = 0, \dots, J$).

2. Oczekiwany niedobór wody dla systemów zrównoważonych

System zaopatrzenia w wodę jest zrównoważony, jeśli maksymalna moc produkcyjna wszystkich układów zasilania w wodę Q_p jest równa maksymalnemu zapotrzebowaniu na wodę Q_n . Wówczas wszystkie układy zasilania w wodę tworzą strukturę szeregową, czyli zachodzi: $\Delta Q_p = 0$ oraz $Q_w = Q_n$. Uogólniając i formalizując zaprezentowaną w pracy [3] metodykę wyznaczania oczekiwanego niedoboru wody, można napisać:

$$EN_s = \sum_{j=1}^J (1 - K_j) \cdot Q_j = \sum_{j=1}^J EN_j \quad (1)$$

lub równoważnie

$$EN_s = Q_n - \sum_{j=1}^J K_j \cdot Q_j = Q_n - EQ_s \quad (2)$$

Wzór (1) wskazuje na możliwość wyznaczania średniego niedoboru wody dla całego systemu jako sumę przeciętnych niedoborów EN_j wynikających z niesprawności poszczególnych niezależnie uszkodzających się j -tych elementów (tu: układów zasilania w wodę). Wzór (2) umożliwia wyznaczenie EN_s jako różnicy wydajności wymaganej Q_w i spodziewanej wydajności systemu EQ_s . W obu wzorach uproszczenia wynikają z właściwości addytywności wartości oczekiwanej. Obydwa wzory są intuicyjnie zrozumiałe, logiczne i proste w użyciu.

3. Oczekiwany niedobór wody dla systemów z nadwyżką produkcji

Przedstawiono wzory analityczne do określenia EN_s dla systemów z tzw. ograniczoną nadwyżką produkcji wody. Warunkiem tej ograniczoności jest, by możliwa nadwyżka produkcji wody ΔQ_p nie przekraczała możliwości produkcyjnych żadnego z istniejących układów zasilania w wodę:

$$\Delta Q_p \leq \min \{ Q_1, Q_2, \dots, Q_J \} \quad (3)$$

Warunek ten oznacza, że podczas wyznaczania EN_s za pomocą metod przeglądu realna nadwyżka produkcji może wystąpić tylko w jednym stanie elementarnym systemu, gdy wszystkie elementy są zdatne ($k = 0$). Dla pozostałych stanów

elementarnych systemu zachodzi $Q_{si} \leq Q_n$. Przyjęcie tego warunku (3) było konieczne do przekształcania wzorów ogólnych. Przy warunku $Q_w = Q_n$ wartości Q_{si} oraz N_{si} można wyznaczać jako:

$$Q_{si} = \min \left\{ \sum_{j \text{ spr}} Q_j; Q_n \right\} \quad \text{oraz} \quad N_{si} = Q_n - Q_{si} \quad (4)$$

albo

$$Q_{si} = \sum_{j \text{ spr}} Q_j \quad \text{oraz} \quad N_{si} = \max \{ Q_n - Q_{si}; 0 \} \quad (5)$$

W pierwszym przypadku, przy braku zbiorników wody uzdatnionej wydajność systemu w i-tym stanie elementarnym Q_{si} nie przekracza Q_n , więc może zachodzić jedynie relacja $Q_{si} \leq Q_n$. W drugim przypadku Q_{si} oznacza maksymalną możliwą wydajność systemu w i-tym stanie elementarnym, gdzie np. przy konieczności uzupełnienia zapasu wody uzdatnionej w zbiorniku może zachodzić relacja $Q_{si} > Q_n$. W obu przypadkach uzyskuje się tę samą wartość niedoboru wody w i-tym stanie systemu N_{si} . Jak widać, w obu przypadkach wystąpienie funkcji „minimum” albo „maksimum” uniemożliwia przekształcanie i upraszczanie wzorów na ENs, i w rezultacie wyprowadzenie ogólnych wzorów analitycznych dla sytuacji ogólnej. Jak wspomniano, uzyskanie i stosowanie ogólnych wzorów analitycznych jest możliwe jedynie po spełnieniu przez elementy systemu warunku (3). Dalej przedstawiono wywody, analityczne wzory oraz przykłady dla systemu z ograniczoną nadwyżką produkcji spełniającego warunek (3).

Najpierw rozważmy prosty przypadek, gdy liczba układów zasilania w wodę wynosi $J = 2$. Oczekiwany niedobór wody ENs można wyznaczyć za pomocą MPZ (tab. 1.). Wyznaczając ENs metodą tradycyjną, należy obliczyć $ENs = \sum_{i=1}^4 N_{si} \cdot P_{si}$. Działając na oznaczeniach ogólnych i dokonując szeregu przekształceń, uzyskuje się wynik:

$$ENs = Q_n \cdot (1 - K_1 \cdot K_2) - Q_1 \cdot K_1 \cdot (1 - K_2) - Q_2 \cdot K_2 \cdot (1 - K_1) \quad (6)$$

Dla systemu zrównoważonego, tj. gdy $Q_n = Q_1 + Q_2$, wzór ten upraszcza się do postaci $ENs = Q_n - K_1 \cdot Q_1 - K_2 \cdot Q_2$. Po przekształceniach uzyskano postać wzoru (2).

Przykład 1.

W pewnym systemie zaopatrzenia w wodę (SZW) istnieją dwa układy zasilania w wodę (UZW). Znane są możliwości produkcyjne tych układów oraz ich

niezawodności równe odpowiednio $Q1 = 60\%Qn$, $Q2 = 70\%Qn$ oraz $K1 = 0,89$, $K2 = 0,92$. Wyznaczamy $Qp = 130\%Qn$ oraz $\Delta Qp = 30\%Qn$. Jak widać, warunek (3) został spełniony. Obliczenia prowadzi się tabelarycznie (tab. 2.).

Tabela 1. Ogólna tabela stanów dwuelementowego systemu z nadwyżką produkcji spełniającego warunek (3)

Table 1. General table of statuses of a two- element system with a production surplus, meeting the condition (3)

i	Stany elementów		Psi	Qsi [%Qn]	Nsi [%Qn]
	1	2			
1	+	+	$K1 \cdot K2$	$Q1 + Q2$	0
2	+	-	$K1 \cdot (1 - K2)$	Q1	$Qn - Q1$
3	-	+	$(1 - K1) \cdot K2$	Q2	$Qn - Q2$
4	-	-	$(1 - K1) \cdot (1 - K2)$	0	Qn

Tabela 2. Wyznaczanie ENs dla przykładowego dwuelementowego systemu z nadwyżką produkcji spełniającego warunek (3)

Table 2. Determination of ENs for a two- element system with a production surplus, meeting the condition (3)

i	Stany elementów		Psi	Qsi [%Qn]	Nsi [%Qn]	Nsi · Psi [%Qn]
	1	2				
1	+	+	0,8188	130	0	0
2	+	-	0,0712	60	40	2,848
3	-	+	0,1012	70	30	3,036
4	-	-	0,0088	0	100	0,88

Otrzymano $ENs = 6,764\%Qn$. Na podstawie wzoru (6) otrzymuje się $ENs = Qn \cdot (1 - 0,89 \cdot 0,92) - 0,6Qn \cdot 0,89 \cdot (1 - 0,92) - 0,7Qn \cdot 0,92 \cdot (1 - 0,89) = 0,06764Qn$. Jak widać, wzór (6) „sprawdził się”. Uzyskano dokładny wynik, taki jak za pomocą MPZ, ale mniejszym nakładem pracy.

Rozpatrzmy teraz przykład, gdy liczba układów zasilana w wodę wynosi $J = 3$. Ogólne wzory dla poszczególnych stanów systemu zawiera tab. 3. Postępując analogicznie, po przekształceniach uzyskuje się wzór ogólny:

$$ENs = Qn \cdot (1 - K1 \cdot K2 \cdot K3) - Q1 \cdot K1 \cdot (1 - K2 \cdot K3) - Q2 \cdot K2 \cdot (1 - K1 \cdot K3) - Q3 \cdot K3 \cdot (1 - K1 \cdot K2) \quad (7)$$

Przykład 2.

Liczba układów zasilania w wodę w pewnym SZW wynosi $J = 3$. Dane są: $Q1 = 40\%Q_n$, $Q2 = 50\%Q_n$, $Q3 = 30\%Q_n$, $K1 = 0,95$, $K2 = 0,97$ oraz $K3 = 0,9$. Jak widać, $\Delta Q_p = 20\%Q_n$, co oznacza że warunek (3) jest spełniony. MPZ dla ogólnego przypadku przedstawiono w tab. 3., natomiast kroki obliczania ENs dla analizowanego przypadku zawiera tab. 4.

Tabela 3. Ogólna tabela stanów systemu trójelementowego systemu z nadwyżką produkcji spełniającego warunek (3)

Table 3. General table of statuses of a three- element system with a production surplus, meeting the condition (3)

i	Stany elementów			Psi	Qsi [%Qn]	Nsi [%Qn]
	1	2	3			
1	+	+	+	$K1 \cdot K2 \cdot K3$	$Q1 + Q2 + Q3$	0
2	+	+	-	$K1 \cdot K2 \cdot (1 - K3)$	$Q1 + Q2$	$Q_n - Q1 - Q2$
3	+	-	+	$K1 \cdot (1 - K2) \cdot K3$	$Q1 + Q3$	$Q_n - Q1 - Q3$
4	-	+	+	$(1 - K1) \cdot K2 \cdot K3$	$Q2 + Q3$	$Q_n - Q2 - Q3$
5	-	-	+	$(1 - K1) \cdot (1 - K2) \cdot K3$	$Q3$	$Q_n - Q3$
6	-	+	-	$(1 - K1) \cdot K2 \cdot (1 - K3)$	$Q2$	$Q_n - Q2$
7	+	-	-	$K1 \cdot (1 - K2) \cdot (1 - K3)$	$Q1$	$Q_n - Q1$
8	-	-	-	$(1 - K1) \cdot (1 - K2) \cdot (1 - K3)$	0	Q_n

Tabela 4. Wyznaczanie ENs dla przykładowego trójelementowego systemu z nadwyżką produkcji spełniającego warunek (3)

Table 4. Determination of ENs for a three- element system with a production surplus, meeting the condition (3)

i	Stany elementów			Psi	Qsi [%Qn]	Nsi [%Qn]	Nsi·Qsi [%Qn]
	1	2	3				
1	+	+	+	0,82935	120	0	0
2	+	+	-	0,09215	90	10	0,9215
3	+	-	+	0,02565	70	30	0,7695
4	-	+	+	0,04365	80	20	0,873
5	-	-	+	0,00135	30	70	0,0945
6	-	+	-	0,00485	50	50	0,2425
7	+	-	-	0,00285	40	60	0,171
8	-	-	-	0,00015	0	100	0,015

Wartość ENs wyznaczona za pomocą MPZ wynosi $ENs = \sum_{i=1}^8 Nsi \cdot Psi =$
 $= 3,087\%Q_n$. Za pomocą wzoru (7) uzyskuje się wynik $ENs = 100 \cdot (1 - 0,95 \times$
 $\times 0,97 \cdot 0,9) - 40 \cdot 0,95 \cdot (1 - 0,97 \cdot 0,9) - 50 \cdot 0,97 \cdot (1 - 0,95 \cdot 0,9) - 30 \cdot 0,9 \times$

$\times (1 - 0,95 \cdot 0,97) = 3,087\%Q_n$. Jak widać, obliczenie ENs przeprowadzone metodą analityczną jest proste i szybkie.

Na podstawie wzoru (7) można było napisać wzór ogólny słuszny dla dowolnej liczby elementów J w systemie z nadwyżką produkcji spełniającym warunek (3):

$$ENs = Q_n \cdot \left(1 - \prod_{j=1}^J K_j \right) - \sum_{j=1}^J Q_j \cdot K_j \cdot \left(1 - \prod_{\substack{m=1..J \\ m \neq j}} K_m \right) \quad (8)$$

Wzór (8) sprawdzono dla szeregu systemów, dla których $J > 3$ oraz zachodził warunek (3). Wartość ENs wyznaczano najpierw za pomocą MPZ (stany elementarne generowano za pomocą specjalnie napisanej procedury w VBA), a następnie za pomocą wzoru (8). We wszystkich przypadkach uzyskano idealną zgodność wyników. Zamieszczono jeden z przykładów testowych.

Przykład 3.

Dane są: $J = 5$, $Q_1 = Q_2 = 30\%Q_n$, $Q_3 = Q_4 = Q_5 = 20\%Q_n$ oraz $K_1 = \dots = K_5 = K_e = 0,9$. Stąd $\Delta Q_p = 20\%Q_n$. Warunek (3) jest spełniony. Najpierw przeprowadzono obliczenie ENs za pomocą MPZ. Liczba wszystkich stanów elementarnych wynosi $I(MPZ) = 2^5 = 32$ (tab. 5.).

Stosując pracochłonną MPZ, uzyskano wynik $ENs = 3,8098\%Q_n$. Natomiast na podstawie wzoru (8) otrzymano: $ENs = Q_n \cdot (1 - K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5) - Q_1 \cdot K_1 \cdot (1 - K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5) - Q_2 \cdot K_2 \cdot (1 - K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5) - Q_3 \cdot K_3 \cdot (1 - K_1 \cdot K_2 \cdot K_4 \cdot K_5) - Q_4 \cdot K_4 \cdot (1 - K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_5) - Q_5 \cdot K_5 \cdot (1 - K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4)$. Dla danych przyjętych w przykładzie otrzymano: $ENs = 100 \cdot (1 - 0,9^5) - 2 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot (1 - 0,9^4) - 3 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot (1 - 0,9^4) = 3,8898\% Q_n$. Ten sam dokładny wynik uzyskano nieporównywalnie mniejszym nakładem pracy.

Na koniec należy jeszcze raz wyraźnie podkreślić, że wzór (8) pozostaje słuszny jedynie dla przypadków spełniających warunek (3). Jeśli warunek nie jest spełniony, to wyznaczenie ENs jest możliwe jedynie za pomocą metod przeglądu.

Przykład 4.

Liczba układów zasilania w wodę w pewnym SZW wynosi $J = 3$. Dane są: $K_1 = 0,95$, $K_2 = 0,97$ oraz $K_3 = 0,9$. Jak widać, $\Delta Q_p = 50\%Q_n$, co oznacza, że warunek (3) nie jest spełniony. Wartość ENs wyznaczona za pomocą MPZ wynosi $ENs = 1,404\%Q_n$, przy zastosowaniu zaś wzoru (8) $ENs = 0,9675\%Q_n$. Przyczyną niezgodności wyników jest niemożność uniwersalnego zastąpienia funkcji maksimum określającej niedobór we wzorze (5) przez proste wyrażenie

Tabela 5. Wyznaczanie ENs dla przykładowego pięcioelementowego systemu z nadwyżką produkcji spełniającego warunek (3)

Table 5. Determination of ENs for a five- element system with a production surplus, meeting the condition (3)

i	Stany elementów					Pi	Qsi [%Qn]	Nsi [%Qn]	Ni*Pi [%Qn]
	e1	e2	e3	e4	e5				
1	+	+	+	+	+	0,59049	120	0	0
2	+	+	+	+	-	0,06561	100	0	0
3	+	+	+	-	+	0,06561	100	0	0
4	+	+	-	+	+	0,06561	100	0	0
5	+	-	+	+	+	0,06561	90	10	0,6561
6	-	+	+	+	+	0,06561	90	10	0,6561
7	+	+	+	-	-	0,00729	80	20	0,1458
8	+	+	-	+	-	0,00729	80	20	0,1458
9	+	+	-	-	+	0,00729	80	20	0,1458
10	+	-	+	+	-	0,00729	70	30	0,2187
11	+	-	+	-	+	0,00729	70	30	0,2187
12	+	-	-	+	+	0,00729	70	30	0,2187
13	-	+	+	+	-	0,00729	70	30	0,2187
14	-	+	+	-	+	0,00729	70	30	0,2187
15	-	+	-	+	+	0,00729	70	30	0,2187
16	-	-	+	+	+	0,00729	60	40	0,2916
17	+	+	-	-	-	0,00081	60	40	0,0324
18	+	-	+	-	-	0,00081	50	50	0,0405
19	+	-	-	+	-	0,00081	50	50	0,0405
20	+	-	-	-	+	0,00081	50	50	0,0405
21	-	+	+	-	-	0,00081	50	50	0,0405
22	-	+	-	+	-	0,00081	50	50	0,0405
23	-	+	-	-	+	0,00081	50	50	0,0405
24	-	-	+	+	-	0,00081	40	60	0,0486
25	-	-	+	-	+	0,00081	40	60	0,0486
26	-	-	-	+	+	0,00081	40	60	0,0486
27	+	-	-	-	-	9E-05	30	70	0,0063
28	-	+	-	-	-	9E-05	30	70	0,0063
29	-	-	+	-	-	9E-05	20	80	0,0072
30	-	-	-	+	-	9E-05	20	80	0,0072
31	-	-	-	-	+	9E-05	20	80	0,0072
32	-	-	-	-	-	1E-05	0	100	0,001

algebraiczne. Podczas tworzenia tabeli MPZ, zgodnie z wzorem (5) dla stanu elementarnego $(-, +, +)$, tj. dla 4. wiersza tabeli MPZ, maksymalna możliwa produkcja wody wynosi $Qs_4 = Q_2 + Q_3 = 110\%Q_n$, a niedobór $Ns_4 = 0$. Natomiast wyznaczony niedobór za pomocą wzoru ogólnego z tab. 3., słusznego jedynie w przypadku, gdy jest spełniony warunek (3), jest ujemny i wynosi $Q_n - Q_2 - Q_3 = 100 = 50 - 60 = -10\%Q_n$. W tym przykładzie w przypadku przeprowadzenia obliczeń jedynie za pomocą wzoru (8) nie uzyskano żadnego sygnału

o nieprawidłowości wyniku, co może być groźne w skutkach. W niektórych sytuacjach (np. gdy $Q1 = Q2 = Q3 = 60\%Q_n$) za pomocą wzoru (8) uzyskano ujemną wartość oczekiwanego niedoboru wody $ENs = -2,852\%Q_n$, co już zwraca uwagę przeprowadzającego obliczenia. Dlatego bardzo ważne jest sprawdzenie warunku (3), który jest warunkiem stosowalności uproszczonego wzoru analitycznego (8).

4. Podsumowanie

W pracy rozwinięto metodykę wyznaczania wartości oczekiwanej niedoboru wody wskazaną dla systemów zrównoważonych w pracy [3]. Wyprowadzono nowy prosty wzór służący do wyznaczania wartości średniego niedoboru dla systemów z nadwyżką produkcji wody przy pewnym ograniczeniu dotyczącym wydajności poszczególnych elementów. Wobec uproszczenia metody wyznaczania ENs możliwe jest wykorzystanie tej miary w innych niż dotychczasowe zastosowania.

Literatura

- [1] Iwanejko R.: Analiza błędów metod wyznaczania miar niezawodności obiektów komunalnych na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. Czasopismo Techniczne, nr 3-Ś/2009, s. 21-38.
- [2] Rak J.: Niezawodność systemu uzdatniania wód powierzchniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 20, 1993.
- [3] Rak J.: Nowe spojrzenie na metodę wartości oczekiwanej niedoborów wody. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 2014/11, s. 426-429.
- [4] Rak J., Wieczysty A.: Próba wprowadzenia wskaźników niezawodności dla wody do picia i na potrzeby gospodarcze w aspekcie jej jakości. Mat. konf. „Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi”, t. 2, Wydaw. PZiTS O/Poznań, Poznań 1988, s. 11-24.
- [5] Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011.
- [6] Wieczysty A., Lubowiecka T.: Niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę miasta. Mat. XIV Seminarium Projektantów Wodociągów. Wydaw. PZiTS O/Kraków, Zakopane 1984.

ANOTHER LOOK AT THE EXPECTED VALUE OF WATER SHORTAGE

Summary

The average water shortage in the ENs system is one of the principal measures of reliability of water supply systems. It provides a basis for determination of other reliability measure, so-called general reliability index Ku. Ku is as measure that determines the system compliance with the preset conditions. Traditionally, ENs is determined in tables by the survey methods. For systems

with a large number of elements it is necessary to compromise between the accuracy of the result and labor-consuming calculations. Most often, the calculations are limited to a small number of simultaneous faults within the system, without estimating the error. However, there is always a risk that an unknown error will be significant, and its omission may result in a bad decision. The paper presents analytical equations that enable to determine the expected water shortage for the water-supply systems with the so-called limited surplus water production. They result from transformation of traditional formulas, resulting from the complete review method, while taking into account the assumptions about limitations of the surplus water production. The new formulas are an important supplement to equations developed by another author, for the so-called sustainable systems [3]. Both models help to assess easily and accurately the average amount of water that was not delivered to the ENs customers. On one hand, easy to determine ENs simplifies the reliability analyzes of water supply and sewerage systems; on the other hand, it can contribute to broader application of the ENs and Ku measures in other systems, and give them another interpretations, specific for the nature of the system

Keywords: reliability, failure, average water shortage, methods of survey, water supply system, system with a water production surplus

Przesłano do redakcji: 13.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 28.03.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.7