

Jadwiga KRÓLIKOWSKA, Andrzej KRÓLIKOWSKI

Instytut Zaopatrzenia w Wodę
i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska

ANALIZA PORÓWNAWCZA WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI WIEJSKICH I KOMUNALNYCH SYSTEMÓW ZAOPATRZENIA W WODĘ

THE COMPARATORY ANALYSIS OF RELIABILITY PARAMETERS OF TOWN AND VILLAGE WATER-SUPPLY SYSTEMS

The introduction to the article presents reasons for decreases of the level of reliability of operation in water-supply systems, including e.g. failure frequency of pipelines and equipment. The failure frequency was decided as the basic evaluation parameter, and the values and value-decisive elements are presented further in the paper. Next, a comparative analysis of the basic reliability parameters (T_p , T_n , λ , μ , K) in town and village water-supply systems and their elements was presented, with the focus on tables containing results, where the town systems proved to be more reliable. The summary concludes, among others, that the database of reliability parameters for water-supply systems, despite the numerous research studies and surveys, is still relatively small.

1. Wprowadzenie

Przyczyną obniżenia poziomu niezawodności działania systemów zaopatrzenia w wodę i ich elementów składowych jest awaryjność (uszkodzalność) przewodów i urządzeń. Mają one w większości charakter odnawialny. Podstawowym parametrem oceny uszkodzalności sieci i urządzeń wodociągowych jest jednostkowy wskaźnik awaryjności odnoszony w okresie roku bądź do długości sieci, bądź do liczby elementów danego rodzaju systemu. Jego wartość jest informacją o częstotliwości pojawiania się tego niekorzystnego zjawiska.

Natomiast podstawą analizy niezawodności działania systemów zaopatrzenia w wodę, podsystemów lub pojedynczych elementów stanowiących jest znajomość wartości wskaźników (estymatorów), opisujących w sposób ilościowy poziom ich niezawodności [1]. Wartości tych wskaźników są niezbędne przy ustaleniu kryteriów niezawodności działania obiektów wodociągowych oraz do oceny niezawodności tych obiektów dla potrzeb projektowania i eksploatacji.

Wstępny przegląd podstawowej literatury przedmiotu wskazuje na pewne różnice wartości tych wskaźników dotyczących komunalnych i wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę. Wynika to ze specyfiki ich układów i warunków działania. Systemy komunalne zaopatrzenia w wodę dostarczają znacznie większe w stosunku do wiejskich ilości wody, panuje w podsystemie jej dystrybucji większe ciśnienie, a w swoim układzie sieciowym, który jest najczęściej pierścieniowy posiadają przewody magistralne oraz charakteryzują się wyższym wskaźnikiem długości sieci przypadającej na jednostkę powierzchni objętej systemem, a także innymi materiałami, z których je zbudowano. Skolei wiejskie systemy zaopatrzenia w wodę dostarczają znacznie mniejszych ilości wody, panuje w nich niższe niż w komunalnych ciśnienie (co w przypadku awarii skutkuje mniejszymi stratami wody), mają na ogół ciśnieniowy charakter urządzeń uzdatniających i układ jednostopniowy, podsystem dystrybucji wody jest najczęściej rozgałęzienny i zostały wybudowane z przewodów głównie z tworzyw sztucznych. Specyfika różniąca oba systemy przekłada się na wartości poszczególnych wskaźników częstości uszkodzeń i niezawodności działania.

2. Rola wskaźników przy ocenie niezawodności działania systemów zaopatrzenia w wodę.

Uzyskanie wartości wskaźników niezawodności obiektów wodociągowych wymaga dostępności do danych eksploatacyjnych, bądź prowadzenia badań terenowych w warunkach eksploatacyjnych. Danymi eksploatacyjnymi z okresu wcześniejszego przedsiębiorstwa wodociągowe komunalne dysponują najczęściej z ewidencji awarii na sieciach i przyłączach wodociągowych. Natomiast rezultatem bieżących badań terenowych są dane o uszkodzalności badanych obiektów. Z całej ich populacji wybiera się próbę losową i poddaje obserwacji. Zarówno liczebność próby jak i czas obserwacji powinny być odpowiednio duże i długie. Ich ustaleniu sprzyja analiza dostępności i wiarygodności materiałów źródłowych, uzupełniona konsultacjami z pracownikami służb eksploatacyjnych przedsiębiorstw wodociągowych.

Zbieranie danych o awaryjności elementów systemów zaopatrzenia w wodę jest sprawą trudną i kłopotliwą, ponieważ awarie są często rejestrowane w sposób nieodpowiedni do wymagań obróbki statystycznej, często niekompletne, a niekiedy mało wiarygodne.

Badania terenowe dostarczają jednak informacji z zakresu funkcjonowania obiektów wodociągowych, takich jak rodzaj awarii, przyczyna powstania awarii, czas jej trwania, czas bezuszkodzeniowej pracy obiektu itp. Materiałami źródłowymi tych informacji jest bieżąca dokumentacja eksploatacyjna.

Materiał uzyskany z badań terenowych poddawany jest porządkowaniu, a następnie obróbce statystycznej, która w efekcie pozwala uzyskać rzeczywiste wartości empiryczne wskaźników charakteryzujących niezawodność, które można traktować jako zmienne losowe niezależne.

Systemy zaopatrzenia w wodę jak i większość ich elementów składowych stanowią obiekty odnawialne, których charakterystyczną cechą jest to, że po uszkodzeniu są poddawane naprawie, a po naprawie (odnowie) włączone do eksploatacji. Najczęściej stosowanymi parametrami (wskaźnikami) charakteryzującymi niezawodność obiektów odnawialnych są [8]:

- wskaźniki pojedyncze

- C – częstość uszkodzeń, a
- T_p – średni czas pracy pomiędzy uszkodzeniami, a
- T_n – średni czas odnowy, a
- ω – strumień uszkodzeń (przy założeniu, że rozkład czasu pracy pomiędzy uszkodzeniami jest wykładniczy, wskaźnik ten co do wartości równy jest wskaźnikowi intensywności uszkodzeń λ),
- λ – intensywność uszkodzeń,
- μ - intensywność odnowy,

- wskaźniki kompleksowe

- K – stacjonarny wskaźnik gotowości,
- K_u – uogólniony wskaźnik gotowości.

Wyznaczone wskaźniki umożliwiają prognozowanie uszkadzalności elementów systemów zaopatrzenia w wodę oraz ocenę działania tych systemów znanymi i opublikowanymi w literaturze [1], [6], [8] metodami – jednoparametrycznymi (np. metodą przeglądu lub metodą wzorów analitycznych) lub dwuparametrycznymi (np. metodą częstości uszkodzeń, metodą minimalnych przekrojów niesprawności, metodą drzewa uszkodzeń).

3. Ocena wskaźnika częstości uszkodzeń

Wskaźnik częstości uszkodzeń charakteryzujący awaryjność systemów zaopatrzenia w wodę można określić z zależności:

$$c = \frac{n}{\Delta t} \quad (a^{-1}) \quad (3.1)$$

w której : c – średnia częstość występowania uszkodzenia elementu wodociągowego,
 n – liczba wszystkich zarejestrowanych uszkodzeń elementów systemu zaopatrzenia w czasie Δt ,
 Δt – długość okresu obserwacji, w którym ustalono liczbę uszkodzeń, a

Jednostkowa częstość uszkodzeń

- dla przewodów wodociągowych

$$c_L = \frac{n}{\Delta t \cdot L} = \frac{c}{L} \quad (a^{-1}, km^{-1}) \quad (3.2)$$

- dla pozostałych elementów systemów zaopatrzenia w wodę

$$c_N = \frac{n}{\Delta t \cdot N} = \frac{c}{N} \quad (a^{-1}, szt^{-1}) \quad (3.3)$$

w których:

L – długość badanych przewodów, km,
 N – liczba badanych elementów, szt.

Wartości jednostkowej częstości uszkodzeń elementów wiejskiego systemu zaopatrzenia w wodę na podstawie badań eksploatacyjnych

	c_L lub c_N [3]	c_L lub c_N [5]
- ujęcie wód podziemnych	2,7 a ⁻¹ , szt ⁻¹	1,46 a ⁻¹ , szt ⁻¹
- urządzenia uzdatniające wodę	8,5 a ⁻¹	-
- zespoły pompowe II ^o	8,0 a ⁻¹	0,024 a ⁻¹
- przewody tranzytowe (przesyłowe)	0,06 a ⁻¹ km ⁻¹	0,282 a ⁻¹ km ⁻¹
- sieć wodociągowa rozdzielcza	0,10 a ⁻¹ km ⁻¹	0,02 a ⁻¹ km ⁻¹
- przyłącza wodociągowe	0,16 a ⁻¹ km ⁻¹	-
- przewody wodociągowe $\Phi 50$ - $\Phi 150$ mm	0,10 a ⁻¹ km ⁻¹	0,10 a ⁻¹ km ⁻¹
Częstość uszkodzeń całych wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę [3], [7]		
- wodociągi lokalne jednostopniowe	$c_L = 0,82$ a ⁻¹ km ⁻¹ ,	
- wodociągi grupowe jednostopniowe	$c_L = 0,80$ a ⁻¹ km ⁻¹ ,	
- wodociągi grupowe dwustopniowe	$c_L = 1,07$ a ⁻¹ km ⁻¹ .	

Zaprezentowane powyżej rezultaty badań jednostkowej częstości uszkodzeń wybranych elementów wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę, przeprowadzonych mniej więcej w tym samym okresie (drugiej połowie lat osiemdziesiątych ub. stulecia) i w tym samym rejonie kraju, można ocenić w przypadku części elementów jako (elementy liniowe sieć wodociągowa rozdzielcza, przewody tranzytowe, czy przewody wodociągowe $\Phi 50$ - $\Phi 150$ mm), a w innej części jako zdecydowanie różniące się nawet kilkunasto – lub kilkudziesięciokrotnie (elementy obiektowe – ujęcia wody podziemnej, pompownie II^o). Natomiast częstość uszkodzeń całych wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę wzrasta wraz ze stopniem złożoności ich układu i największa dotyczy systemów dwustopniowych.

Awaryjność 72 komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę na podstawie badań ankietowych przeprowadzonych w latach 198-1997 w 72 systemach była zależna od rodzaju materiału, z którego zbudowano sieć i przedstawiała się następująco [9]:

- przewody żeliwne 0,76 a⁻¹ km⁻¹, na Górnym Śląsku 0,82 a⁻¹ km⁻¹
- przewody stalowe 0,71 a⁻¹ km⁻¹, na Górnym Śląsku 2,58 a⁻¹ km⁻¹
- przewody z PE 0,39 a⁻¹ km⁻¹, na Górnym Śląsku 0,77 a⁻¹ km⁻¹
- przewody z PVC 0,14 a⁻¹ km⁻¹, na Górnym Śląsku 0,43 a⁻¹ km⁻¹

Maksymalne wartości jednostkowej częstości uszkodzeń w systemach komunalnych wahały się od 2,28 do 4,31 a⁻¹ km⁻¹, natomiast wartości minimalne od 0,10 (Sokołów Podlaski) do 0,15 a⁻¹ km⁻¹ (Kęty). Awaryjność systemów komunalnych zależy również od liczby obsługiwanych mieszkańców i tak poniżej 10 tys. Mk $c = 0,8$ a⁻¹ km⁻¹, w przedziale 50-100 tys. Mk $c = 0,99$ a⁻¹ km⁻¹, a powyżej 200 tys. Mk $c = 1,06$ a⁻¹ km⁻¹. Średnia wszystkich ankietowanych systemów wyniosła 0,96 a⁻¹ km⁻¹.

Z oceny podanych wyżej rezultatów wynika, że jednostkowa częstość uszkodzeń wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę jest bardzo zbliżona do systemów komunalnych zbudowanych z tradycyjnych materiałów (żeliwo, stal). Natomiast różnica im plus występuje w przypadku materiałów z tworzyw sztucznych, co można złożyć na karb ich wieku w stosunku do materiałów tradycyjnych. Nie dziwi większa awaryjność systemów Górnego Śląska, spowodowana szkodami górniczymi. Komentarza wymaga wzrost jednostkowej wartości częstości uszkodzeń wraz ze wzrostem liczby obsługiwanych mieszkańców, a więc wielkością i złożonością systemu zaopatrzenia w wodę, który jest naszym zdaniem spowodowany wiekiem tych systemów i większym stopniem posiadania układów sieciowych z materiałów tradycyjnych częściej ulegających uszkodzeniom.

Reasumując, z dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że o jednostkowej częstości uszkodzeń sieci wodociągowej rozdzielczej, przyłączy wodociągowych i przewodów tranzytowych decydują [9]:

- rodzaj materiału przewodów, liczba złączy i uwarunkowania związane z ich wykonaniem,
- warunki gruntowo-wodne w miejscach ułożenia przewodów,
- liczba przyłączy w danym odcinku sieci,
- parametry hydrauliczne, a w szczególności zakres i częstość wahania ciśnienia w sieci,
- lokalizacja przewodów w stosunku do pozostałej infrastruktury podziemnej oraz infrastruktury nadziemnej.

4. Porównanie wskaźników niezawodności działania systemów zaopatrzenia w wodę – komunalnych i wiejskich

Wskaźniki niezawodności w zależności od ich przeznaczenia mogą dotyczyć zarówno poszczególnych elementów systemów lub nawet poszczególnych średnic przewodów (np. przesyłu wody) lub podsystemu jej dystrybucji (sieci rozdzielczej) jak i poszczególnych podsystemów oraz całych systemów zaopatrzenia w wodę. Do prezentowanej analizy porównawczej wybrano podstawowe elementy systemów, które występują zarówno w wodociągach komunalnych jak i wodociągach wiejskich i na podstawie dostępnych materiałów źródłowych porównano takie wskaźniki jak średni czas pracy (**T_p**), intensywność uszkodzeń (λ), średni czas odnowy (**T_n**) oraz intensywność odnowy (μ), które przedstawiono w tabeli 1. Ponadto w kolejnym zestawieniu (tab. 2) zaprezentowano wskaźniki gotowości (**K_g** i **K_u**) podobnych elementów systemu i całego systemu, tym razem z przewagą danych dotyczących wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę.

W zestawieniu tabelarycznym (tab. 1) porównano wskaźniki niezawodności następujących elementów systemu zaopatrzenia w wodę :

- ujęcie wody podziemnej (studnia wiercona z pompą głębinową),
- pompownia wodociągowa II stopnia
 - agregaty pompowe,
 - zbiorniki wodno-powietrzne,
- przewody przesyłowe (tranzytowe),
- sieć wodociągowa rozdzielcza Φ do 200 mm.

W kolejnym zestawieniu tabelarycznym (tab. 2) wskaźniki niezawodności będą dotyczyły:

- całych systemów zaopatrzenia w wodę – komunalnego i wiejskich,
- poszczególnych elementów systemu komunalnego,
- sieci rozdzielczej i przewodów przesyłowych w systemach wiejskich , zależnie od rodzaju materiałów, z których zostały wybudowane.

Tab. 1. Zestawienie oszacowanych podstawowych wskaźników niezawodności działania systemów zaopatrzenia w wodę komunalnych i wiejskich [3, 4, 5, 6]

Tab. 1. Compilation of basic estimatory reliability parameters of town and village water-supply system's operation [3, 4, 5, 6]

Rodzaj podsystemu lub jego elementu	Wskaźniki niezawodności			
	Średni czas pracy T_p (d)	Intensywność uszkodzeń λ (1/h)	Średni czas odnowy T_n (h)	Intensywność odnowy μ (1/h)
Ujęcie wody podziemnej • komunalne • wiejskie	128 ÷ 740 ^{x)} 71 ÷ 156 ^{x)}	0,000125÷0,000205 ^{x)} 0,094÷0,011 ^{x)}	0,40÷0,80 ^{x)} 0,30÷1,97 ^{x)}	0,0937÷0,1431 ^{x)} 0,0208÷0,14 ^{x)}
Różnica	+57÷+584	+0,093875÷+0,011095	+0,10÷-1,17	+0,0729÷+0,0031
Pompownie wodociągowe II stopnia - agregaty pompowe • komunalne • wiejskie	64 ÷ 1095 ^{x)} 88,1 ÷ 106,3 ^{x)}	0,00038÷0,00065 ^{x)} 0,094÷0,011 ^{x)}	0,18÷2,0 ^{x)} 8,05÷8,44 ^{x)}	0,02÷0,227 ^{x)} 0,1184÷0,1242 ^{x)}
Różnica	-24,1÷+988,7	+0,09362÷+0,01065	-7,87÷-6,44	+0,0984÷+0,1028
- zbiorniki wodno-powietrzne • komunalne • wiejskie	1461 ÷ 9855 ^{x)} 70,7 ÷ 156,5 ^{x)}	0,000002÷0,0001 ^{x)} 0,0007	4,16 4,0÷7,5 ^{x)}	0,01 0,187
Różnica	+1390,3÷+9698,5	+6,98·10⁻⁴÷+6,0·10⁻⁴	+0,16÷-3,34	-0177
Przewody przesyłowe (tranzytowe) • komunalne • wiejskie	2774 ÷ 4080 ^{x)} 128,3	0,00012÷0,0005 ^{x)} 0,00023÷0,342 ^{x)}	0,60÷2,3 ^{x)} 8,0	0,018÷0,07 ^{x)} 0,143÷0,183 ^{x)}
Różnica	+2645,7÷+3951,7	+0,00011÷+0,3415	-7,40÷-5,7	-0,125÷+0,113
Sieć wodociągowa rozdzielcza Φ 200 mm • komunalnej • wiejskiej	476 ÷ 1428 ^{x)} 95,7 ÷ 330,5 ^{x)}	0,00008÷0,00011 ^{x)} 0,0001÷0,0005 ^{x)}	0,52÷2,08 ^{x)} 4,5÷13,7 ^{x)}	0,02÷0,08 ^{x)} 0,128÷0,157 ^{x)}
Różnica	+380,3÷+1097,5	+2,0·10⁻⁵÷-3,9·10⁻⁴	-3,98÷-11,62	-0,108÷-0,077

x) min – max

+ na korzyść systemów komunalnych

- na niekorzyść systemów komunalnych

Tab. 2. Zestawienie wartości wskaźników gotowości, ilustrującego niezawodność systemu zaopatrzenia w wodę oraz ich elementów

Tab. 2. Compilation of values of readiness parameters, illustrating the reliability of the water-supply system and its elements

Rodzaj systemu lub jego elementu	Wskaźniki niezawodności			Uwagi
	Wskaźnik gotowości Kg	uogólniony wskaźnik gotowości Kg	oszacowany wskaźnik gotowości Kg	
Miasto powiatowe P – cały system [2]	-	0,989601020-0,990149307	0,9861849 ^{xx)}	Q=120 m ³ /h xx) wymagany wskaźnik gotowosci
Miasto powiatowe P – wybrane elementy systemu [2]				
• ujęcia wody	0,98586951	-	-	
• studnia zbiorcza	0,99036347	-	-	
• pompownia i hydrofornia	0,99442064	-	-	
• zbiornik wyrównawczy	0,99875223	-	-	
• sieć rozdzielcza	0,99929430	-	-	
Wodociągi wiejskie - zespoły pompowe[7]				
• jednostopniowe				
- wodociąg B	0,9980896 ^{x)}	-	0,9999666	Q= 70 m ³ /h
- wodociąg N	0,9980896 ^{x)}	-	0,9999697	Q= 110 m ³ /h
- wodociąg K	0,9978439 ^{x)}	-	0,9999697	Q= 70 m ³ /h
• dwustopniowe				
- wodociąg P	0,9980974 ^{x)}	-	0,9999707	Q= 31 m ³ /h
- wodociąg J	0,9978083 ^{x)}	-	0,9999696	Q= 46 m ³ /h
- wodociąg H	0,9987194 ^{x)}	-	0,9999744	Q= 18 m ³ /h
Wodociągi wiejskie (55 sieci rozdzielczych) [5]				
- przewody tranzytowe				
• całość		-	-	L= 670 km
• PVC	0,99403	-	-	
• azbesto- cementowe	0,99863	-	-	
	0,99560	-	-	
- sieć rozdzielcza				
• całość	0,99464	-	-	
• PVC	0,99482	-	-	
• żeliwne	0,99583	-	-	
• azbesto- cementowe	0,99698	-	-	
• stalowe	0,98406	-	-	

x) wskaźniki obliczone na podstawie zależności podanych w pracy [7]

Analizując wartości wskaźników zestawionych w tabeli 1, a w szczególności średni czas pracy (T_p) i średni czas odnowy (T_n) poszczególnych elementów obu systemów zwracają uwagę większe wartości czasu bezawaryjnej pracy elementów systemu komunalnego w stosunku do elementów systemu wiejskiego. Dotyczy to przykładowo ujęć wody podziemnej, gdzie różnica na korzyść tych pierwszych + waha się od 57 (min) do 584 (max) dni oraz w przypadku sieci wodociągowej rozdzielczej, gdzie podobne relacje wyglądają następująco: od 380 (min) do ok. 1097 (max) dni. Tylko w jednym przypadku – pompowni wodociągowych II stopnia minimalny czas bezawaryjnej pracy agregatów pompowych w systemach wiejskich jest o ok. 24 dni dłuższy niż w systemach komunalnych. Pozostałe analizowane elementy systemów komunalnych wykazują zdecydowaną (wielokrotną) przewagę jakościową czasu bezawaryjnej pracy nad analogicznymi elementami systemów wiejskich, zwłaszcza zbiorniki wodno-powietrzne (hydrofory) oraz przewody przesyłowe. Można to złożyć na karb warunków, w których realizowano te inwestycje oraz materiałów o niższej jakości, jakie zazwyczaj stosuje się przy budowie systemów wiejskich.

Średni czas odnowy (T_n) dotyczący obu systemów różnił się bardzo niewiele i zazwyczaj wynosił kilka godzin, rzadko przekraczając czas pracy jednej zmiany (8 h). Miało to miejsce w przypadku wiejskiej sieci wodociągowej rozdzielczej, kiedy maksymalny czas odnowy wyniósł 13, 7 h, co może uzasadniać większe odległości pomiędzy elementami systemu w warunkach wiejskich, w stosunku do warunków miejskich. Najczęściej mają też dłuższy czas od wystąpienia uszkodzenia sieci wodociągowej lub przewodu przesyłowego do jego wykrycia. Uszkodzenie elementów komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę były na ogół usuwane szybciej niż analogiczne w systemach wiejskich.

Pozostałe podstawowe wskaźniki niezawodności – intensywność uszkodzeń (λ) i intensywność odnowy (μ) różniły się w odniesieniu do obu analizowanych systemów w zasadzie niewiele i to na korzyść + systemów komunalnych, przybierając niższe wartości niż dla analogicznych elementów systemów wiejskich. Najmniejsze różnice dotyczyły w przypadku λ przewodów przesyłowych (0,00011 odnośnie minimum) oraz sieci wodociągowej rozdzielczej – od 0,0002 (minimum) do 0,00039 (maksimum).

W przypadku intensywności odnowy (μ) różnice pomiędzy wartościami tego wskaźnika dla poszczególnych elementów obu systemów były jeszcze mniejsze niż w przypadku λ i przykładowo różniły się w przypadku ujęć wody podziemnej od 0,0729 (minimum) do 0,031 (maksimum), a w przypadku agregatów pompowych w pompowni wodociągowej II stopnia od 0,0984 (minimum) do 0,103 (maksimum), oczywiście w obu przypadkach na korzyść systemów komunalnych.

Zestawiony w tabeli 2 wskaźnik gotowości, wykorzystywany do jednoparametrycznej oceny niezawodności systemów zaopatrzenia w wodę, dotyczy bardzo różnych elementów obu analizowanych systemów, zależnie od możliwości uzyskania wiarygodnych danych. W pierwszej kolejności podano wartości wskaźnika gotowości (K_g) i uogólnionego wskaźnika gotowości (K_u) niewielkiego, komunalnego systemu zaopatrzenia w wodę, umożliwiając porównanie ich z wymaganym wskaźnikiem gotowości, co pozwala na stwierdzenie, że system ten scharakteryzowany bliżej w pracy [2] posiada wymagany poziom niezawodności działania.

W dalszej kolejności podano wskaźniki niezawodności wybranych elementów tego systemu, których wartości były do siebie podobne (skrajna różnica – 0,01342479) i które poza ujęciami wody (różnica 0,0003154) wypełniały wymagany wskaźnik gotowości, a najbardziej sieć wodociągowa rozdzielcza.

Pozostałe zestawione wskaźniki gotowości dotyczyły wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę. Na początku podano wskaźniki gotowości dotyczące zespołów pompowych dwóch grup systemów: jednostopniowych (3 wodociągi) i dwustopniowe (3 wodociągi), po dwie wartości dotyczące każdego z nich. Pierwsza wartość pochodziła z obliczeń wykonanych na podstawie zależności wyprowadzonych w pracy [7], druga natomiast została oszacowana na podstawie wskaźników niezawodności. Ich wartości w obu grupach różniły się bardzo niewiele (0,0002 i 0,00001). A różnica wartości wskaźnika pomiędzy obu grupami wahała się w granicach od $0,031 \cdot 10^{-4}$ do $0,087 \cdot 10^{-4}$.

Następna końcowa grupa wartości wskaźnika gotowości dotyczy elementów podsystemu dystrybucji wody systemów wiejskich – przewodów tranzytowych i sieci rozdzielczej, wybudowanych z różnych materiałów. Ich wartości są do siebie bardzo zbliżone (różnica wartości skrajnych – 0,014). Zastanawiające jest jednak wysoka gotowość przewodów azbestocementowych, przy jednocześnie stosunkowo niskiej wartości wskaźnika gotowości dla rur stalowych.

5. Podsumowanie

Stosowane metody szacowania wskaźników niezawodnością dotyczących analizowanych obiektów technicznych uwzględniają ich opis dwoma stanami: stanem zdatności i stanem niezdatności.

Porównując jednak awaryjność analizowanych systemów i ich elementów należy podkreślić wysoką bezawaryjność zbiorników wodno-powietrznych, elementów podsystemu dystrybucji wody i przewodów przesyłowych w komunalnych systemach zaopatrzenia w wodę, które mają podstawowe znaczenie dla jej niezawodnej dostawy. Natomiast najbardziej niezawodne w wiejskich systemach zaopatrzenia w wodę są również zbiorniki wodno-powietrzne oraz przewody przesyłowe, najmniej – ujęcia wody i sieć wodociągowa rozdzielcza. Ocena awaryjności komunalnych systemów wykazała zależność liczby awarii od liczby mieszkańców zaopatrywanych w wodę oraz rodzaju materiału przewodów wodociągowych, natomiast analogiczna analiza awaryjności wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę wykazała brak wyraźnej korelacji pomiędzy rodzajami systemu a liczbą awarii.

Analiza porównawcza podstawowych wskaźników niezawodności działania wybranych elementów systemów komunalnych i wiejskich zaopatrzenia w wodę, dokonana na podstawie dostępnych materiałów źródłowych wykazała wyższy poziom niezawodności systemów komunalnych w stosunku do systemów wiejskich, co można uznać za stan pozytywny, ponieważ zaopatrują one w wodę większą liczbę mieszkańców niż niewielkie na ogół wodociągi wiejskie. Uwzględniając jednak potrzebę zapewnienia podobnych warunków sanitarno-technicznych życia zarówno na wsi jak i w mieście, a niezawodna dostawa wody do picia i do celów higienicznych jest dla ich mieszkańców sprawą pierwszorzędnej wagi, nie ma powodu, aby poziom sprawności funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę w warunkach wiejskich był zdecydowanie niższy niż w miastach. Sاذzimy, że nasz referat starał się udowodnić prawdziwość takiego punktu widzenia tego problemu.

Na zakończenie jeszcze jedna refleksja. Pomimo przeprowadzenia wielu prac badawczych, studialnych i ankietowych „bank” (baza) wskaźników niezawodności systemów zaopatrzenia w wodę jest nadal skromna, o czym mogliśmy się przekonać szukając w literaturze potrzebnych wskaźników.

Bibliografia

- [1] Abramow N.N. *Nadieżność system wodosnabżenia*. Stroizdat. Moskwa, 1984
- [2] Budziło B., Panuś K. Ocena niezawodności system zaopatrzenia w wodę miasta Proszowice i jego okolic. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* Nr 1 ss 13-16, 2010
- [3] Dzienis L., Królikowski A. Awaryjność wiejskich systemów wodociągowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej* Nr 5, 1990
- [4] Kąpcia J. Parametry niezawodnościowe obiektów systemu zaopatrzenia w wodę. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN vol. 2* ss 513-519, 2001
- [5] Kłos-Trębaczekiewicz H., Kwietniewski M., Roman M. Eksploatacyjne wskaźniki niezawodności działania przewodów tranzytowych i sieci przewodów rozdzielczych w wiejskich systemach wodociągowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* Nr 12, 1990
- [6] Kwietniewski M., Kłos-Trębaczekiewicz H., Roman M. Opracowanie metod oceny niezawodności wiejskich systemów wodociągowych w zakresie ujęć wód podziemny oraz sieci przewodów tranzytowych i rozdzielczych. *Etap II Praca w ramach C.P.B.R. Nr 10.8* wykonana w Politechnice Warszawskiej, 1989
- [7] Orzechowska M. Modelowanie uszkodzalności wybranych elementów wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę. *Rozprawa doktorska (promotor prof. A.Królikowski)*. Politechnika Białostocka, 1996
- [8] Wieczysty A. i inni. Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN vol. 2*, 2001
- [9] Praca zespołowa pod redakcją Dymaczewskiego Z i Sozańskiego M.M. *Wodociągi i kanalizacja w Polsce – tradycja i współczesność*, 2002