

**Barbara BUDZIŁO, Marta BASTER - KOSIK**

*Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska  
Politechnika Krakowska*

## **OCENA NIEZAWODNOŚCI FUNKCJONOWANIA WODOCIĄGU MIASTA ŻYWIEC**

### **FUNCTIONAL RELIABILITY ASSESSMENT OF THE WATER SUPPLY SYSTEM FOR THE TOWN OF ŻYWIEC**

*A functional assessment of the water supply system for the town of Żywiec with water intake from the river Koszarawa was made based on the theory of reliability. Material collected in the course of operating research over the period of 11 years on the water supply subsystem allowed to define reliability indices for the water source. Random events in the water source included: high water turbidity and the occurrence of slush and ice. The conducted two-parameter functional assessment of the investigated water supply subsystem confirmed that the following condition had been met:  $K_{S(PsDoW)} \geq K_{W(PsDoW)}$ . Simultaneously, data from operating research spanning the period of 11 years was collected; water production analysis, sales analysis taking into account various objectives and an analysis of the failure frequency of water distribution subsystem at that time.*

## **1. Wprowadzenie**

Prace z zakresu funkcjonowania wodociągów w oparciu o teorię niezawodności przedstawiono w szeregu opracowaniach [1,2,3,4,5,7,8]. W pracach tych oprócz wiadomości z zakresu teorii niezawodności podano ocenę dwuparametryczną i jednoparametryczną badanych obiektów Źródłem wody badanych podsystemów są ujęcia wód powierzchniowych. Podsystem dostawy wody może składać się z jednego lub z kilku układów zasilania. Do wyznaczenia wskaźników niezawodności systemów lub jego fragmentów stosuje się odpowiednie metody i wzory [6,11,12,13]. Przy ocenie niezawodności uwzględniono źródło wody łącznie z obiektami technicznymi, ponieważ z punktu widzenia niezawodnościowego są połączone szeregowo. Niezawodność zasobów zależy od wielu zjawisk np. ilości i jakości wody w cieku.

Celem niniejszego opracowania jest analiza wyników uzyskanych z przeprowadzonej oceny niezawodnościowej podsystemu dostawy wody dla miasta Żywca. Zebrany materiał z badań eksploatacyjnych pozwolił na wyznaczenie niezawodności źródła wody i niektórych elementów badanego systemu. Losowe zdarzenia w źródle wody obejmowały wysoką mętność wody, zjawiska sryżowo - lodowe. Przeprowadzona

ocena dwuparametryczna potwierdziła spełnienie przez badany podsystem warunku  $K_W(\text{PsDoW}) \geq K_S(\text{PsDoW})$ .

Równocześnie zebrano dane z badań eksploatacyjnych wodociągu z okresu 11 lat i przeprowadzono analizę dotyczącą produkcji wody, sprzedaży z uwzględnieniem poszczególnych celów oraz awaryjności podsystemu dystrybucji wody.

## 2. Wzory i metody wykorzystane w obliczeniach

W niniejszym opracowaniu, jako metodę obliczeniową dla tego rodzaju analiz niezawodnościowych zastosowano w badanym podsystemie dostawy wody (PsDoW) metodę dekompozycji zupełnej [6,11,13]. Założono, że rozpatrywane będą najprostsze strumienie zdarzeń. Dla wyznaczenia stacjonarnego wskaźnika gotowości badanych obiektów stosowano znaną metodę przeglądu zupełnego, w której dekompozycje przeprowadza się ze względu na wszystkie  $M$  elementów składowych. Wyznaczenie dla danego obiektu tylko wartości stacjonarnego wskaźnika gotowości, nie pozwala w sposób jednoznaczny scharakteryzować badanego obiektu. Dopiero wyznaczenie wskaźnika gotowości  $K$  i średniego czasu odnowy  $T_n$  lub średniego czasu pracy pomiędzy uszkodzeniami  $T_p$ , pozwala jednoznacznie scharakteryzować badany obiekt i jest to tzw. ocena dwuparametryczna.

Struktura niezawodnościowa badanych obiektów podsystemu dostawy wody (PsDoW) określa powiązania między elementami z punktu widzenia wpływu ich uszkodzeń na pracę całego podsystemu. Badany podsystem dostawy wody zbudowany jest ze struktur mieszanych szeregowo - równoległych i szeregowo - progowych. Obliczenia struktur przeprowadzono wg wzorów zestawionych w tabeli nr 1 wg [13].

Wyznaczony wskaźnik gotowości badanych podsystemów dostawy wody powinien spełniać kryterium  $K_S \geq K_W$  co do wymaganego poziomu niezawodności. Jeśli to kryterium nie jest spełnione, to należy przewidzieć jego modernizację. Wymagany wskaźnik gotowości można wyznaczyć ze wzoru:

$$K_W = (J + 1) \cdot C_i \sqrt{[K_W(SZW)]}^{B_i} \quad (1)$$

gdzie:  $J$  – liczba układów zasilania,  $C_i$  – liczba wszystkich elementów w  $i$  – tym układzie zasilania,  $K_W(SZW)$  – wymagany wskaźnik gotowości systemu zaopatrzenia w wodę, przyjęty wg [12,13],  $B_i$  – liczba elementów w  $i$  – tym układzie zasilania.

W oparciu o uzyskany materiał z badań eksploatacyjnych obliczono i scharakteryzowano źródło wody i niektóre elementy systemu zaopatrzenia w wodę. Estymator średniego czasu pracy pomiędzy uszkodzeniami obliczono wg wzoru :

$$T_p = \frac{1}{N_p} \left( T - \sum_{nu=1}^{N_u} t_{nu} \right), \quad [\text{h}] \quad (2)$$

gdzie:

$N_u$ - liczba odnów w analizowanym okresie,

$N_p$ - liczba odcinków czasów pracy w analizowanym okresie,

$t_{nu}$ - trwanie odnowy w  $u$ -tym okresie,

$T$ - analizowany okres, h.

Estymator średniego czasu trwania odnowy obliczono wg wzoru :

$$T_n = \frac{1}{N_u} \sum_{nu=1}^{Nu} t_{nu}, \quad [h] \quad (3)$$

Objaśnienia jak wyżej.

Wskaźnik gotowości badanego elementu:

$$K = \frac{T_p}{T_p + T_n} \quad (4)$$

Tab. 1. Zestawienie wzorów do wyznaczenia wskaźników niezawodności dla struktur podstawowych

Tab. 1 Comparison of equations defining reliability indices for basic structures

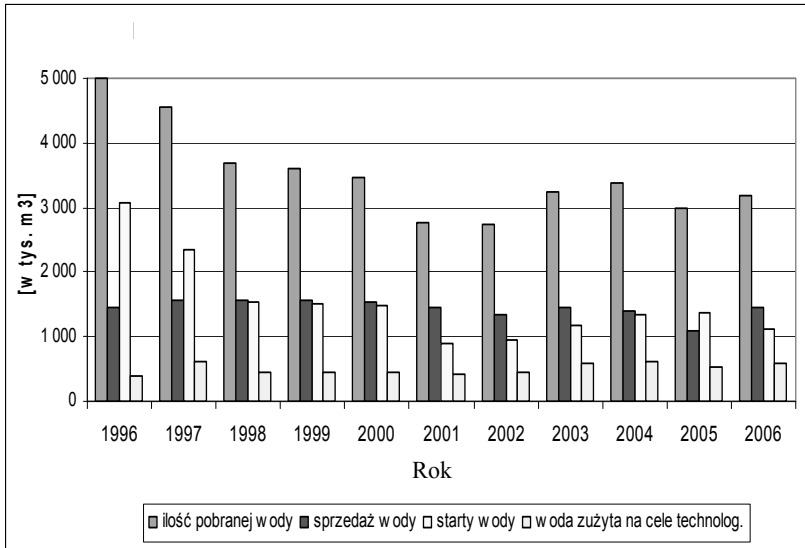
Struktura	Wskaźnik gotowości	Częstość uszkodzeń
Szeregowa	$K_s = \prod_{i=1}^n K_i$	$f_s = \sum_{e=1}^n f_e \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq e}}^n K_j$ $f_e = \frac{1}{T_{ps} + T_{ns}}$
Równoległa jednorodna	$K_s = 1 - \prod_{j=1}^M (1 - K_j)$	$f_s = M \cdot f \left[ \sum_{k=0}^{n-1} \binom{M-1}{M-n+k} (1-K)^{M-n+k} \cdot K^{n-1-k} \right]$
Progowa jednorodna	$K_s = \sum_{k=0}^{M-n} \binom{M}{k} K^{M-k} (1-K)^k$	$f_s (1 z M ) = \sum_{e=1}^M \left[ f \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq e}}^M (1 - K_j) \right]$
Struktura	Średni czas pracy	Średni czas odnowy
Jednorodna szeregową, równoległą, progową	$T_{ps} = \frac{K_s}{f_s} \quad [h]$	$T_{ns} = \frac{1 - K_s}{f_s} \quad [h]$

### 3. Ogólna charakterystyka systemu zaopatrzenia w wodę

Ocena niezawodności została przeprowadzona w oparciu o dane uzyskane w Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Żywcu [9]. Wodociąg komunalny w Żywcu rozpoczął eksploatację w roku 1965. W tym roku wybudowano ujęcie wody powierzchniowej na rzece Koszarawie oraz Stację uzdatniania wody w Żywcu – Sporyszu.

W roku 1989 oddany został do eksploatacji zbiornik wyrównawczy „Pod Grapą”. Po roku 1992 zrealizowany został rurociąg zasilający zbiornik wyrównawczy na Górze Bułgarskiej.

Obecnie wodociąg obsługuje ok. 55 tysięcy odbiorców wody w tym 33 tys. mieszkańców z miasta Żywca, a pozostali to odbiorcy trzech sąsiednich gmin oraz zakład przemysłowy. Średnia dobowa produkcja zakładu wynosi  $Q_{d\acute{s}r} = 8\,701 \text{ m}^3/\text{d}$ , a maksymalna dobowa wynosi  $Q_{dmax} = 15\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  i  $Q_{hmax} = 625 \text{ m}^3/\text{h}$ .



Rys. 1. Produkcja, sprzedaż, straty oraz zużycie wody na cele technologiczne wg.[9].

Fig. 1. Production, sale, losses and consumption of water for technological purposes according to [9].

W badanym okresie od 1996 do 2006 roku wystąpił spadek produkcji wody o ok. 36,5% pomimo, stałego wzrostu długości sieci wodociągowej. spowodowany przez:

- spadek zużycia wody w zakładach przemysłowych (modernizacja produkcji, obiegi zamknięte wody);
- wymianę istniejących przewodów wodociągowych na nowe oraz uszczelnianie starych;
- wyposażenie gospodarstw domowych w wodomierze oraz nowoczesne, wodooszczędne urządzenia (spłuczki, pralki, zmywarki itp.);
- wzrost kosztów wody.

Sprzedaż wody w okresie analizowanym wahała się od 1 464,089 do 1 451,216 tys m<sup>3</sup>/rok i ma niewielkie tendencje spadkowe o ok. 0,9 %. Sprzedaż wody dla gospodarstw domowych w okresie analizowanym wzrosła o 13,6%. Sprzedaż wody na cele produkcyjne uległa spadkowi o 22,5 %, w tym czasie nastąpił też spadek wody zużytej na inne cele o około 14%. Straty wody wahają się od 3 081,838 do 1 122,175 tys m<sup>3</sup>/rok i także ulegają spadkowi o ok. 64,0%.

#### 4. Opis techniczny badanego podsystemu dostawy wody

Podsystem dostawy wody dla miasta Żywca zasilany jest wodami z rzeki Koszarawa i składa się z następujących elementów:

- ujęcia brzegowo - kanałowego (UjW);
- drenażowego ujęcie wody (rezerwowe),

- kanału betonowego;
- studzienki zbiorczej (StZb);
- piaskownika;
- rurociągu przesyłowego;
- stacji uzdatniania wody;
- zbiornika wody uzdatnionej;
- pompowni wody uzdatnionej;
- rurociągów tłoczących wodę do miasta.

Podstawowe ujęcie brzegowo-kanałowe o wydajności 17 280 m<sup>3</sup>/d (tj. 200 l/s) (zgodnej z pozwoleniem wodnoprawnym z roku 1996) zlokalizowane jest przy jazie na rzece Koszarawie. Rezerwowe drenażowe ujęcie wody (obecnie nie eksploatowane) o wydajności 6 048 m<sup>3</sup>/d. (70 l/s) usytuowane pod dnem rzeki Koszarawy.

Woda z ujęcia brzegowo-kanałowego przepływa kanałem betonowym (K), (zabezpieczonym kratą z prętów stalowych pokrytą warstwą gumy w celu ochrony przed lodem) do studzienki (StZb) skąd odpływa przewodami żeliwnymi (R2) i (R3)  $\varnothing 300$  i  $\varnothing 500$  o długości  $L=0,015$  km do piaskownika. Do piaskownika może też woda przepływać bezpośrednio rezerwowym rurociągiem żeliwnym (R1)  $\varnothing 500$  i o długości  $L=0,02$  km.

Trzykomorowy piaskownik wykonany został jako otwarty, prostokątny o konstrukcji żelbetowej, każda komora posiada dwie zasuwy (Z). Woda rurociągiem żeliwnym (R4) o  $\varnothing 600$  o długości ok. 1,0 km, oraz rurociągiem (R5) dopływa do stacji uzdatniania. Woda poddawana jest w zakładzie uzdatniania procesom takim jak : koagulacja, filtracja i dezynfekcja. Rurociągiem (R5) o  $\varnothing 500$  i  $L= 0,031$  km woda dopływa do budynku koagulacji i trzech mieszaczy szybkich (M) w których następuje wymieszanie wody surowej z koagulantem. Woda rurociągiem żeliwnym (R6) o  $\varnothing 500$  i  $L= 0,063$  km doprowadzana jest do siedmiu osadników pokoagulacyjnych (Os), w których zachodzi proces wolnego mieszania (flokulacji) i sedymentacji. Następnie woda rurociągiem (R7) o  $\varnothing 500$  i długości  $L=0,063$  km przepływa na pięć filtrów pospiesznych otwartych. Po przefiltrowaniu woda rurociągiem (R8) o  $\varnothing 500$  i długości  $L=0,026$  km dopływa do dwukomorowego zbiornika wody czystej (Zb) (o łącznej pojemności  $V= 800$  m<sup>3</sup>). Stąd woda jest przetłaczana przez pompy pompowni wody uzdatnionej (AP) do zbiornika wyrównawczego i do sieci miejskiej. Stosowana jest dwustopniowa dezynfekcja wody: promieniami ultrafioletowymi (Lampa UV) oraz chemiczna (mieszanina dezynfekcyjna MIOX) [6].

W pompowni wody uzdatnionej zainstalowano trzy agregaty pompowe (w tym jeden rezerwowy) o parametrach: wydajności  $Q = 430$  [m<sup>3</sup>/h] i wysokości podnoszenia  $H_p=0,23$  MPa. Z pompowni woda rurociągiem stalowym (R9) o  $\varnothing 400$  i  $L= 0,020$  km tłoczona jest bezpośrednio do sieci miejskiej. Stosuje się system biomonitoringu SYMBIO czyli układ biologicznej kontroli jakości wody zastosowany w omawianym systemie. Polega on na obserwacji i rejestracji stopnia otwarcia małży, pełniących rolę bio-wskaźników jakości wody.

## 5. Ocena niezawodności podsystemu dostawy wody

Informacje na temat przestojów pochodzą z dobowych raportów pracy laboratorium i pompowni w Stacji uzdatniania wody. Została przeprowadzona analiza pracy odcinka od ujęcia wody do rurociągu tłoczego wody uzdatnionej. Informacje dotyczące przestojów

w pracy podsystemu dostawy wody zostały uzyskane na podstawie sprawozdań dobowych Stacji Uzdatniania Wody w Żywcu. Dane obejmują okres od 1.01.1996 do 31.12. 2006 roku. Zebrane przyczyny przestoju to: ograniczenia ze strony źródła wody, przerwy spowodowane brakiem energii elektrycznej.

Poniżej zestawiono wskaźniki niezawodności wyznaczone na podstawie badań eksploatacyjnych (tab.2). W oparciu o schemat technologiczny opracowano schemat niezawodnościowy badanego podsystemu dostawy wody (rys.2). Dwuparametryczną ocenę niezawodności przeprowadzono dla obiektów od źródła wody do rurociągu tłoczącego wodę uzdatnianą do sieci.

Do obliczeń wskaźniki niezawodnościowe charakteryzujące źródło wody przyjęto z badań własnych, pozostałe wskaźniki dla poszczególnych elementów układu zasilania przyjęto z danych zawartych w literaturze [11,13]. Badany podsystem składa się z połączonych szeregowo zespołów ŻrW, UjW, A, B, C, D, R6, E, F, G, H, I, J,K (rys,2)

Tab. 2. Zestawienie wskaźników niezawodności z badań eksploatacyjnych

Tab. 2. Comparison of reliability indices from operating research

Losowe zdarzenia	Wskaźnik gotowości K	Średni czas pracy $T_p$ [h]	Średni czas odnowy $T_n$ [h]
W źródle wody	$K_{ZrW} = 0,9988282$	5069,4	5,9
Zanik energii	$K_{enl} = 0,9999487$	9642,7	0,5

Ze względu na objętość pracy przedstawiono tylko końcowe obliczenia:

- wskaźnika gotowości  $K(PsDoW)$  przy uwzględnieniu losowych zdarzeń w źródle wody:

$$K(PsDoW) = \prod_{j=1}^n K_j = 0,99393325$$

- intensywności uszkodzeń  $\lambda(PsDoW)$ :

$$\lambda(PsDoW) = \sum_{j=1}^n \lambda_j [1/h] = 8,970495 * 10^{-4} 1/h,$$

- intensywności odnowy  $\mu(PsDoW)$ :

$$\mu(PsDoW) = \frac{1}{T_n(PsDoW)} = 14,706 * 10^{-2} 1/h$$

- średni czas odnowy:

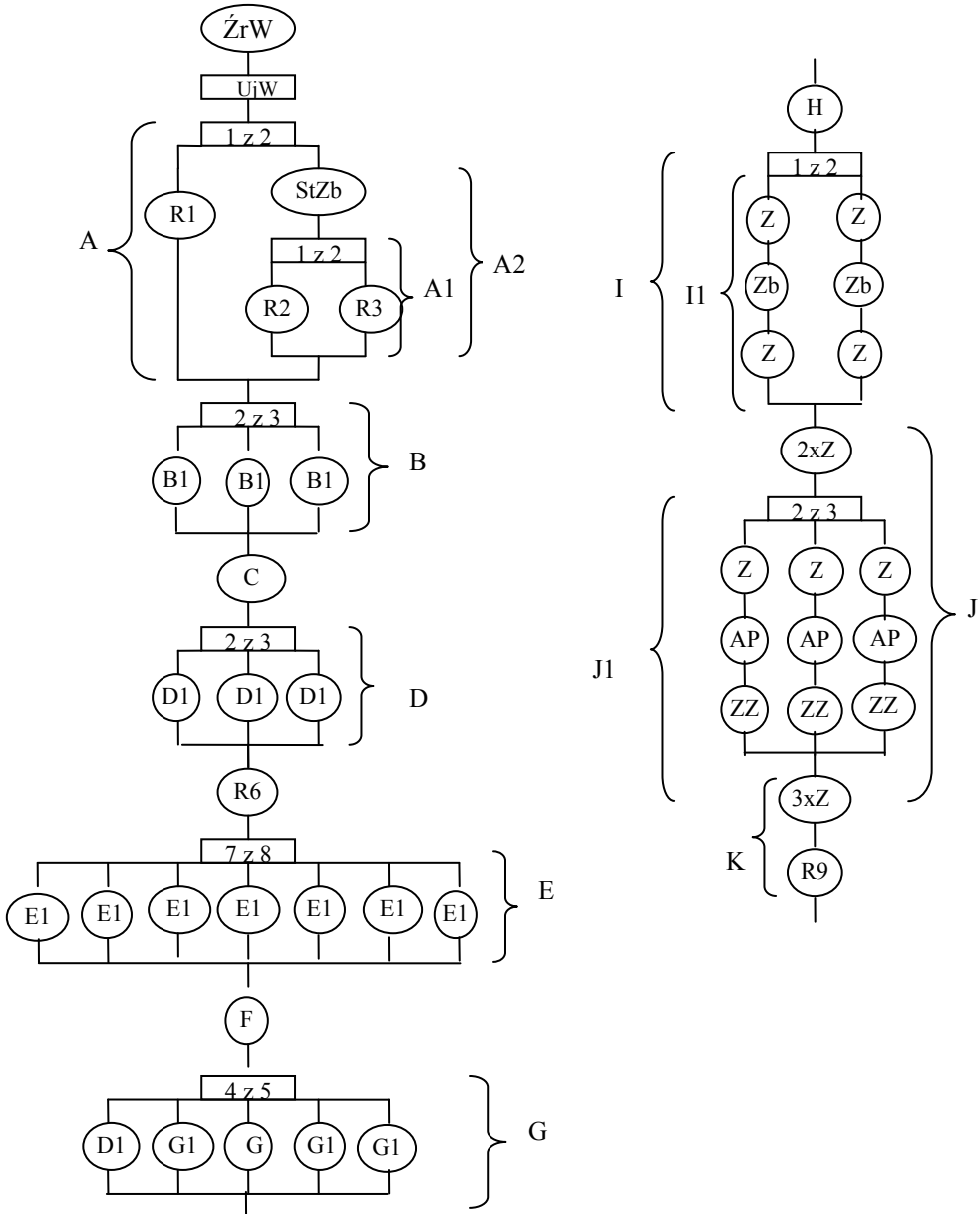
$$T_n(PsDoW) = \frac{1 - K(PsDoW)}{f(PsDoW)} = 6,80 \text{ h},$$

- częstości uszkodzeń  $f(PsDoW)$ :

$$f(PsDoW) = K(PsDoW) * \lambda(PsDoW) [1/h] = 8,916073 * 10^{-4} [1/h],$$

- średniego czasu pracy pomiędzy uszkodzeniami  $T_p(PsDoW)$ :

$$T_p(PsDoW) = \frac{K(PsDoW)}{f(PsDoW)} [h] = 1114,76 [h],$$



Rys.2. Schemat niezawodnościowy podsystemu dostawy wody

Fig.2. Diagram showing water supply subsystem reliability

Objaśnienia do rysunku 2:

ŹrW – źródło wody, UjW – ujęcia brzegowo-kanalowe, R1 – rurociąg Ø 500; L=0,02 km; żeliwo, StZb – studnia zbiorcza, R2 – rurociąg Ø 300; L=0,015 km, R3 – rurociąg Ø i 500; L=0,015 km, Z – zasuwą B1 – piaskownik i dwie zasuwę, R4 – rurociąg Ø i 600; L=1 km; R5 – rurociąg Ø 500; L=0,031 km, C – dwie zasuwę i rurociągi R4 i R5, D1 – mieszacz szybki i zasuwą, R6 – rurociąg Ø 500; L = 0,063 km, E1 – osadnik pokoagulacyjny i zasuwą, F- zasuwą i R7 – rurociąg Ø 500; L=0,045 km, G1 – filtr pospieszny i dwie zasuwę, H- zasuwą i R8 – rurociąg Ø 500; L=0,026 km, Zb – zbiornik wody czystej, AP – agregat pompowy, ZZ – zawór zwrotny, R9 – rurociąg Ø 400; L=0,022 km.

Podsystem dostawy wody PsDoW miasta Żywca składa się tylko z jednego układu zasilania i powinien dostarczać wymaganą ilość  $Q_w = Q_n$ . Zgodnie z tabelą 2 wg [13] miasto należy do III kategorii niezawodności ( $50\,000 < M_k \leq 500\,000$ ), stąd:  $K_w(SZW)=0,9740959$ .

Wartość wymaganego wskaźnika niezawodności dla PsDoW obliczamy wg wzoru:

$$K_w(PsDoW) = \sqrt{K_w(SZW)} = 0,9869629$$

Gdzie:  $K_w(SZW)$  – wymagany poziom stacjonarnego wskaźnika gotowości SZW przyjmowany jest z literatury [13]

Wyznaczony wskaźnik gotowości badanego podsystemu dostawy wody spełnia warunek  $K(PoDsW)=0,9939332 \geq K_w(PoDsW)=0,9869629$ .

## 6. Badania awarii i uszkodzeń podsystemu dystrybucji wody

Sieć wodociągowa jest siecią mieszaną pierścieniowo – rozgałęzioną, a dostawa wody odbywa się siecią o długości 128,7 km (w tym magistrała wodociągowa (o średnicach 300 – 500 mm), L= 17,7 km, rozdzielcza: (o średnicach 50-250mm), L= 105,5 km), Długość przyłączy wodociągowych wynosi: 85,3 km. Sieć wodociągowa była systematycznie rozbudowana w okresie 11 lat i wzrosła jej długość o ok. 113,2%. Przewody wykonane są z rur : PE o ok. 54,72%, stalowych o ok. 19,88%, żeliwnych o ok. 15,38%, PVC o ok. 5,98%, azbestocementowych AC o ok. 4,04%, ,.

Jednostkowe straty w okresie analizowanym wahały się od 0,33 do 0,06 m<sup>3</sup>/h km uległy spadkowi o ok. 82% i od roku 1998 przyjmują wartości mniejsze od dopuszczalnych 0,2 m<sup>3</sup>/h km [5].

Obliczono wskaźnik jednostkowej intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej rozdzielczej i przyłączy wodociągowych wg wzoru:

$$\lambda_o = \frac{N}{L \cdot \Delta t} \left[ \frac{I_{\text{uszkodzeń}}}{\text{km} \cdot \text{rok}} \right] \quad (5)$$

Gdzie: N – liczba awarii [sztuk]; L – długość sieci wodociągowej [km];  $\Delta t$  - jednostka czasu [rok].

Kryteria zachodnie [5] zalecają zakwalifikowanie przewodu do remontu kapitalnego, gdy wskaźnik intensywności uszkodzeń przekracza wartość 0,5 uszk./km rok

W pracy [10] zaproponowano arbitralnie wartości wskaźników intensywności uszkodzeń, które mogą być pomocne w analizach porównawczych prowadzonych:

- dla przewodów magistralnych  $\lambda_{\text{dop}} = 0,3$  uszk./rok km. wpływ na przyjęcie tej wartości mają skutki awarii, powodujące wysokie ubytki wody z sieci i pozbawienie dużego obszaru dostawy wody,
- dla przewodów rozdzielczych  $\lambda_{\text{dop}} = 0,5$  uszk./rok km,
- dla połączeń wodociągowych  $\lambda_{\text{dop}} = 1,0$  uszk./rok km.



Wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci rozdzielczej jest > od 0,5 l.uszk./km rok, świadczy to o złym stanie sieci wodociągowej i konieczności renowacji. Wskaźnik intensywności uszkodzeń przyłączy wodociągowych jest mniejszy < 1,0 l.uszk./km rok.

Tab. 3. Zestawienie wskaźnika intensywności uszkodzeń  $\lambda$  sieci wodociągowej

Tab. 3. Comparison of water supply system damage intensiveness index  $\lambda$

Rok	Liczba uszkodzeń		Długość sieci [km]		Wskaźnik intensywności uszkodzeń [l.uszkodzeń/km rok]	
	Sieć rozdzielcza	Przyłącza wodociąg.	Sieć rozdzielcza	Przyłącza wodociąg.	Sieć rozdzielcza	Przyłącza wodociąg.
1997	64	22	38,7	44,5	1,65	0,49
1998	62	13	39,3	46,4	1,58	0,28
1999	61	24	40,0	49,4	1,53	0,49
2000	56	17	50,7	54,6	1,11	0,31
2001	78	31	53,7	57,2	1,41	0,54
2002	50	10	54,7	58,9	0,91	0,17
2003	92	24	65,3	65,4	1,41	0,37
2004	65	20	67,1	68,0	0,97	0,29
2005	68	34	77,8	74,0	0,87	0,46
2006	80	64	105,5	85,3	0,76	0,75

Tab. 4. Procentowy udział uszkodzeń w sieci wodociągowej zależności od materiału przewodów w latach 1997 – 2006

Tab. 4. Percentage share in water supply system damage depending on the material used from 1997 to 2006

Materiał	Żeliwo	Stal	AC	Ocynek	PE	PCV
Uszkodzenia %	64	14	1	4	15	2

Największą awaryjnością charakteryzują się przewody z żeliwa, stalowe i PE. Analiza awarii średnic przewodów pozwala zauważyć, że najczęściej uszkodzeniu ulegały przewody sieci rozdzielczej o średnicy 150 i 250 mm wykonane z żeliwa [9].

Awaryje występowały najczęściej w miesiącach jesiennych i zimowych, od października do marca, spowodowane dużymi wahaniami temperatury. Przewody żeliwne to przewody stare, ponad 20letnie, stąd tak duża liczba awarii oraz wysoki wskaźnik intensywności uszkodzeń, przekraczający wartość dopuszczalną 0,5 l.uszk./km

rok. Przyłącza wodociągowe wykonane z PE (15%) i ze stali (14% wszystkich awarii), najczęściej ulegały awarii w skutek uszkodzeń elementów połączeniowych.

Tab. 5. Wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń  $\lambda$  sieci wodociągowej z uwzględnieniem struktury materiałowej (w roku 2006)

Tab. 5. Water supply system damage intensiveness index  $\lambda$  taking into account material structure (2006)

Material	Liczba uszkodzeń	Długość sieci [km]	Wskaźnik Intensywności uszkodzeń [l.uszkodzeń/km rok]
Żeliwo	77	32,07	2,4
Stal	37	41,45	0,89
AC	0	8,42	0,0
PCV	0	12,47	0,0
PE	36	114,10	0,32

## 7. Podsumowanie i wnioski

Celem niniejszej pracy była ocena funkcjonowania wodociągu miasta Żywca. Wodociąg żywiecki zaopatruje w wodę ok.55 tysiące mieszkańców miasta i okolicznych gmin. Podsystem dostawy wody (PsDoW) pracuje w oparciu o ujęcie wody na rzece Koszarawa. Obecnie średnia dobowa produkcja zakładu wynosi 8 701 m<sup>3</sup>/d, a Qdmax wynosi 15 000 [m<sup>3</sup>/d].

W pracy przedstawiono charakterystykę systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) miasta Żywca. Szczegółowo opisano podsystem dostawy wody (PsDoW). Równocześnie uzyskano materiały obejmujące 11 letni okres badań eksploatacyjnych podsystemu dystrybucji wody. Biorąc pod uwagę zebrane materiały sformułowano następujące wnioski:

1. Na przestrzeni 11 lat zaobserwowano znaczny spadek produkcji wody o około 36,5%.
2. Zużycie wody przez gospodarstwa domowe od roku 1996 wzrosło o 13,6%.
3. Zapotrzebowanie na wodę w okresie 11 lat, w stosunku do roku 1996 dla celów przemysłowych zmalało o 22,5 %, a na inne cele o około 14 %
4. Struktura materiałowa sieci wodociągowej jest następująca: PE- 54,72%, stal - 19,88%, żeliwo -15,38%, PVC- 5,98%, AC- 4,04%.
5. Sieć wodociągowa była systematycznie rozbudowana w okresie 11 lat i wzrosła jej długość o ok. 113,2%.
6. W okresie analizowanym wzrasta liczba awarii w sieci wodociągowej:
  - w roku 1997 - 95 awarii,
  - w roku 2001 - 112 awarii,
  - w roku 2006 - 150 awarii.

7. Najczęstszym rodzajem awarii w sieci wodociągowej były punktowe nieszczelności, pęknięcia lub złamania rur, uszkodzenia kielichów (ich łączenia).
8. Straty jednostkowe w sieci od roku 1998 spełniają warunek dopuszczalny  $0,2 \text{ m}^3/\text{h km}$ .
9. Obliczony wskaźnik intensywności uszkodzeń sieci rozdzielczej świadczy o przekroczeniu wartości dopuszczalnej  $\lambda=0,5$  [l.uszk/km a] i konieczności jej renowacji.
10. Wskaźnik intensywności uszkodzeń obliczony w roku 2006 z uwzględnieniem struktury materiałowej potwierdza, że w pierwszym rzędzie trzeba przeprowadzić renowację przewodów żeliwnych i stalowych.

Biorąc pod uwagę zebrane materiały i przeprowadzoną ocenę niezawodnościową podsystemu dostawy wody sformułowano następujące wnioski:

1. Losowe zdarzenia w źródle wody dotyczyły przede wszystkim podwyższonej wartości mętności oraz zjawisk sryżowo-lodowych.
2. W oparciu o schematy niezawodnościowe przeprowadzono dwuparametryczną ocenę niezawodności dla badanego podsystemu dostawy wody, przyjmując wskaźniki niezawodnościowe źródła wody z badań własnych, a pozostałe w oparciu o literaturę
3. Wyznaczony wskaźnik gotowości podsystemu dostawy wody miasta Żywca wynosi  $K_s(\text{PsDoW}) = 0,9939332$  i spełnia warunek normatywny, że  $K(\text{PsDoW}) \geq K_w(\text{PsDoW}) = 0,9869629$ .
4. Słabym elementem badanego układu jest źródło wody rzeki Koszarawy. Główną przyczyną są wysokie wartości mętności ale także zjawiska sryżowo-lodowe. Dlatego w celu zapewnienia niezawodności funkcjonowania proponuje się renowację istniejącego ujęcia drenażowego, które w okresie zimowym zapewniałoby pobór wody bez awarii.

## Bibliografia

- [1] Budziło B., Filipek B., 2004: Ocena funkcjonowania podsystemu dostawy wody miasta Tarnowa. VI Międzynarodowa Konferencja. XVII Krajowa Konferencja, Zaopatrzenia w wodę i ochrona wód, Water Supply and Water Quality, Tom II, ISBN 83-89696-15-0 nr PZITS 834/2004. Poznań.
- [2] Budziło B., Filipek A., 2004: Charakterystyka wodociągu tarnowskiego. Czasopismo Techniczne Środowisko, Politechnika Krakowska 2004, z.8-Ś, s.13-22, ISSN 0011-4561.
- [3] Budziło B., Bednarczyk A. Ocena funkcjonowania podsystemu dostawy wody dla miejscowości Proszowice Materiały z III Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej: Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody, Szczyrk 15-16 czerwiec, str. 27-45. 2005.
- [4] Budziło B., Żelazny R.; Analiza produkcji, sprzedaży wody i awarii podsystemu dystrybucji wody wodociągu wadowickiego Szczyrk Materiały z III Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo- Technicznej: Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody, Szczyrk 15-16 czerwiec, str. 47-56. 2005.

- [5] Dohnalik P., 2000: Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych. Wydawca: Polski Fundusz Ochrony Zasobów Wodnych, Bydgoszcz, 2000, ISBN 914323.
- [6] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczewicz H., 1993, Niezawodność Wodociągów i Kanalizacji, Arkady, Warszawa.
- [7] Kwietniewski M., Wójcik R.:2001 „Ocena niezawodności systemu dostawy wody do Szczecina“ Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1.
- [8] Kwietniewski M., Sudoł M., 2001: Kierunki badań uszkodzalności przewodów wodociągowych, Materiały ogólnokrajowego sympozjum Hydroreprezentacje 2001, Ustroń 2001. Wyd. NOT Katowice, s. 231 – 243.
- [9] Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Żywcu Sp. z o.o.: Sprawozdania roczne z produkcji i sprzedaży wody w latach 1996 – 2006 oraz dane dotyczące sieci wodociągowej.
- [10] Rak J., 2005: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Monografia. Komitetu Inżynierii Środowiska, PAN vol.28, Lublin 2005.
- [11] Wieczysty A.; 1990 „ Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych” cz. I, II Wydawnictwo Politechnika Krakowska, Kraków.
- [12] Wieczysty A., Iwanejko R., 1996 „Wyznaczenie wymaganego wskaźnika niezawodności obiektów zaopatrzenia w wodę”, Miesięcznik : Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2/1996r.
- [13] Wieczysty A. i in ;2001 „ Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę”, Komitet Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Kraków.