

ŚRODOWISKO

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-Ś/2011

ZESZYT 1

ROK 108

ISSUE 1

YEAR 108

BARBARA BUDZIŁO*

OCENA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW ZAOPATRZENIA W WODĘ WYBRANYCH MIAST

RELIABILITY ASSESSMENT OF WATER SUPPLY SYSTEMS FOR SELECT TOWNS

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest analiza wyników uzyskanych z przeprowadzonej oceny niezawodnościowej systemów zaopatrzenia w wodę czterech miast południowej Polski: Andrychowa, Brzeska, Dębicy i Proszowic. Ocenę funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę przeprowadzono na podstawie teorii niezawodności. Analizę systemów zaopatrzenia w wodę przeprowadzono metodą jednoparametryczną za pomocą uogólnionego wskaźnika K_u . Zebrany materiał z badań eksploatacyjnych pozwolił na wyznaczenie niezawodności źródła wody i niektórych elementów badanych systemów. W wyniku przeprowadzonej analizy przedstawiono propozycję modernizacji badanych systemów.

Słowa kluczowe: system zaopatrzenia w wodę, niezawodność, uogólniony wskaźnik K_u , modernizacja

Abstract

The aim of this work is to analyze the results obtained from the conducted reliability assessment of water supply systems for four towns of southern Poland: Andrychow, Brzesko, Debica and Proszowice. This assessment was carried out on the basis of reliability theory. Analysis of water supply systems was conducted with one parametric method using generalized index K_u . Surface water intakes are a water source of the investigated systems. Material collected from exploitation investigations made it possible to determine water source reliability and some elements of the investigated systems was presented.

Keywords: water supply systems, reliability, generalized index K_u , modernization

* Dr hab. inż. Barbara Budziło, prof. PK, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Celem niniejszego artykułu jest analiza wyników uzyskanych z przeprowadzonej oceny niezawodnościowej systemów zaopatrzenia w wodę czterech miast: Andrychowa, Brzeska, Dębicy i Proszowic. Ocena funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę przeprowadzono, opierając się na teorii niezawodności. W wyniku przeprowadzonej analizy przedstawiono propozycję modernizacji badanych systemów.

Systemy zaopatrzenia w wodę mają swą specyfikę, są systemami technicznymi złożonymi, a poszczególne obiekty mają różne funkcje. Do wyznaczenia wskaźników niezawodności całego systemu lub jego fragmentów stosuje się odpowiednie metody i wzory (11, 14, 16). W wielu opracowaniach [1–9, 12, 13, 15] przedstawiono ocenę funkcjonowania systemów na podstawie teorii niezawodności. W pracach tych oprócz wiadomości z zakresu teorii niezawodności podano metody oceny dwuparametryczne i jednoparametryczne badanych obiektów, a także metody wyznaczenia wymaganego wskaźnika gotowości. Źródłem wody badanych systemów są ujęcia wód powierzchniowych. 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 [10]. Zebrany materiał z badań terenowych pozwolił na wyznaczenie niezawodności źródła wody i niektórych elementów badanych systemów.

2. Stosowane wzory i metody obliczenia niezawodności badanych systemów

Na podstawie materiału uzyskanego z badań terenowych obliczono i scharakteryzowano źródło wody i niektóre elementy systemu zaopatrzenia w wodę. Estymator średniego czasu pracy między uszkodzeniami obliczono wg wzoru [11, 16]:

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

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 [11, 16]:

$$T_n = \frac{1}{N_u} \sum_{nu=1}^{N_u} t_{nu} [\text{h}] \quad (2)$$

Objaśnienia jak wyżej.

Analizę niezawodnościową całego systemu zaopatrzenia w wodę przeprowadzono metodą jednoparametryczną za pomocą uogólnionego wskaźnika K_u . Ocenę, że badany system zaopatrzenia w wodę (SZW) spełni zadanie dostarczenia wymaganej ilości wody przeprowadzono na podstawie metody opierającej się na pojęciu wartości oczekiwanej niedoboru wody $E(N)$ stanowiącej miarę niespełnienia przez system jego funkcji. Wartość oczekiwaną niedoboru wody można obliczyć wg wzoru [11, 16]:

$$E(N) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} P_i N_i}{\sum_{i=1}^{n+1} P_i} \quad (3)$$

Zawodność określa stosunek oczekiwanej wartości niedoborów do oczekiwanej wartości potrzeb $E(Q_{\max d})$, dlatego uogólniony wskaźnik niezawodności obliczono wg wzoru [11, 16]:

$$K_u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n+1} P_i N_i}{\sum_{i=1}^{n+1} E(Q_{\max d})} \quad (4)$$

gdzie:

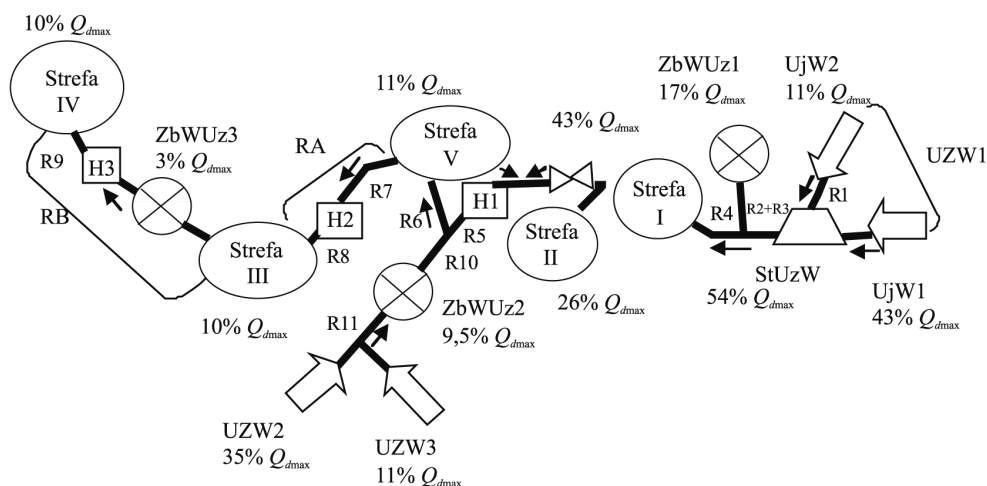
- i – numer kolejny stanu niezawodnościowego SZW,
- n – liczba obiektów w SZW,
- N_i – niedobór w i -tym stanie,
- P_i – prawdopodobieństwo zajścia i -tego stanu.

Obliczenia przeprowadzono, biorąc pod uwagę bardzo małe prawdopodobieństwo zajścia co najmniej dwóch zdarzeń $k \leq 1$.

3. Charakterystyka systemu zaopatrzenia w wodę miasta Andrychów

Miasto i gmina Andrychów liczy ok. 44 tysięcy mieszkańców. System zaopatrzenia w wodę zasilany jest z trzech układów zasilania w wodę UZW1, UZW2, UZW3 (rys. 1).

Maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę wynosi $Q_{d\max} = 8726 \text{ m}^3/\text{d}$. Ze względu na konfigurację terenu, system posiada pięć stref ciśnienia. Układ zasilania UZW1 pracuje w oparciu o zespolone ujęcie wody nurtowo-drenażowe, tzw. Olszyny, pobierające wodę w ilości ok. 43% $Q_{d\max}$ z potoku Wieprzówka, oraz drenażowe ujęcie tzw. Targaniczanka pobierające wodę w ilości ok. 11% $Q_{d\max}$ z potoku Targaniczanka. UZW2 to woda kupowana z „Aqua” S.A. Bielsko-Biała Zakładu Wodociągów w Kobiernicach, który ujmuje wodę z rzeki Soły, w ilości ok. 35% $Q_{d\max}$, UZW3 to woda kupowana z Elektrociepłowni „Andropol” S.A., która pobiera wodę w ilości ok. 11% $Q_{d\max}$.



Objaśnienia: ŻrW – źródło wody, UjW1 – zespolone ujęcie wody „Wieprzówka”, UjW2 – drenażowe ujęcie wody „Targaniczanka”, UZW1 – układ zasilania „Wieprzówka” i „Targaniczanka”, UZW2 – układ zasilania „Andropol”, UZW3 – układ zasilania „Aqua”, StUzW – stacja uzdatniania wody, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 – rurociągi, ZbWUz1, ZbWUz2, ZbWUz3 – zbiorniki wody uzdatnionej, Strefa I, II, III, IV, V – strefa zasilania, H1, H2, H3 – hydrofornie.

Explanatory notes: ZrW – water source, UjW1 – combined water intake “Wieprzówka”, UjW2 – drainage water intake “Targaniczanka”, UZW1 – supply system “Wieprzówka”, and “Targaniczanka”, UZW2 – supply system “Andropol”, UZW3 – supply system “Aqua”, StUzW – water treatment plant, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 – pipelines, ZbWUz1, ZbWUz2, ZbWUz3 – treated water reservoirs, Strefa I, II, III, IV, V – feed zones, H1, H2, H3 – hydrophone rooms.

Rys. 1. Schemat istniejącego systemu zaopatrzenia w wodę miasta Andrychowa

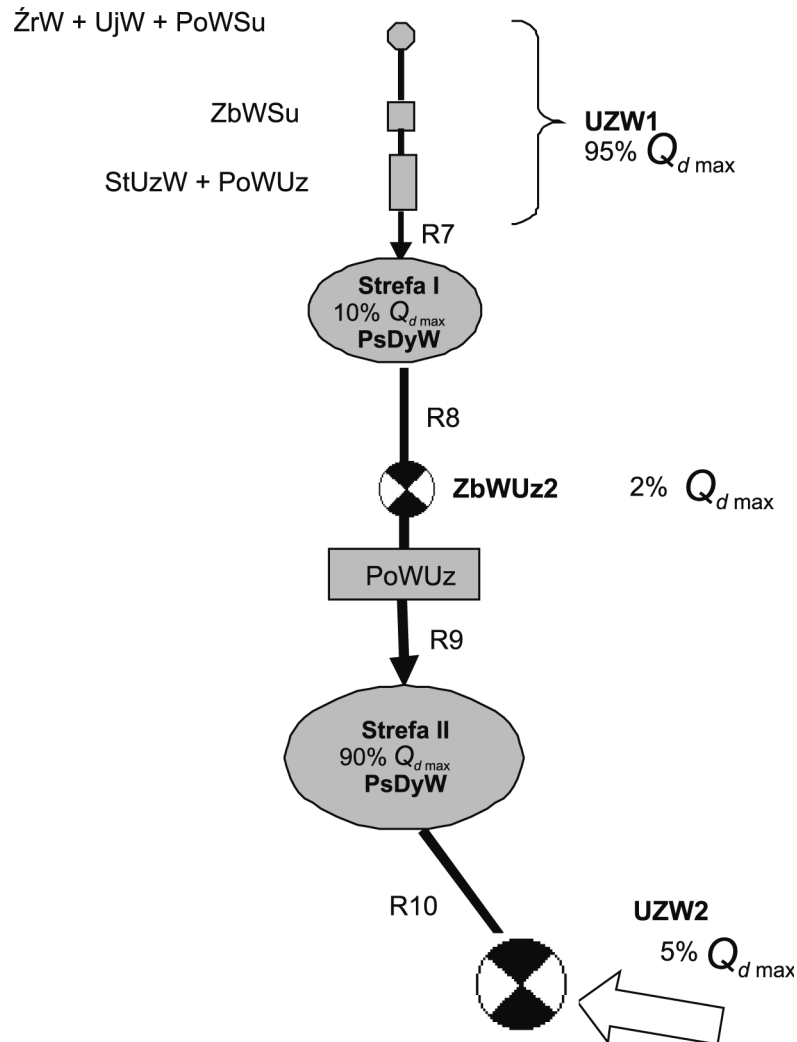
Fig. 1. Scheme of the existing water supply system for Anrychów

System zaopatrzenia w wodę składa się z następujących obiektów (rys. 1): ujęć wody na potoku Targaniczanka (UjW1) i Wieprzówka (UjW2), stacji uzdatniania wody (StUzW), podsystemu dystrybucji wody w Andrychowie współpracującego z trzema zbiornikami wyrównawczymi na „Pańskiej Górze” (ZbWUz1), „Sosina” (ZbWUz2) w Czańcu oraz ze zbiornikiem „Roczyny-Polana” (ZbWUz3). Trzy pompownie hydroforowe H1, H2, H3 przetłaczają wodę do strefy zasilania II, III i IV.

4. Charakterystyka systemu zaopatrzenia w wodę miasta Brzesko

Miasto Brzesko liczy ok. 50 tysięcy mieszkańców. Zaopatrywane jest w wodę pitną z dwóch układów zasilania UZW1 i UZW2 (rys. 2). Maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę wynosi $Q_{dmax} = 11\,200\text{ m}^3/\text{d}$.

Obszar zasilania charakteryzuje się zróżnicowaniem wysokościowym. W celu zaopatrzenia w wodę miasta Brzeska stworzono dwie strefy ciśnieniowe.



Objaśnienia: ŻrW – źródło wody, UjW z rzeki Dunajec, (PoWSu) – pompownia wody surowej, (ZbW-Su) – zbiornik wody surowej, (StUzW) – stacja uzdatniania wody, (PoWUz) pompownia wody uzdatnionej, ZbWUz2 i ZbWUz3 – zbiorniki wody uzdatnionej, Strefa I, II – strefa zasilania
 Explanatory notes: ZrW – water source, UjW1 – water intake from the river Dunajec, PoWSu – raw water pumping station, ZbWSu – raw water reservoir, StUzW – water treatment plant, PoWUz – treated water pumping station, ZbWUz2, ZbWUz3 – treated water reservoirs, Strefa I, II – feed zones

Rys. 2. Schemat systemu zaopatrzenia w wodę miasta Brzeska (stan istniejący)

Fig. 2. Scheme of the water supply system for Brzesko (existing state)

Układ zasilania UZW1 Brzeska ujmuje wodę z rzeki Dunajec w Łukanowicach za pomocą brzegowo-komorowego ujęcia wody. Ujęcie to nie pokrywa w pełni zapotrzebowania na wodę dla miasta ok. 95%. W związku z tym woda jest kupowana w ilości ok. 5% Q_{dmax} z Zakładu Browarskiego w Okocimiu, co stanowi układ zasilania UZW2, pobierający wodę z rzeki Uszwicy.

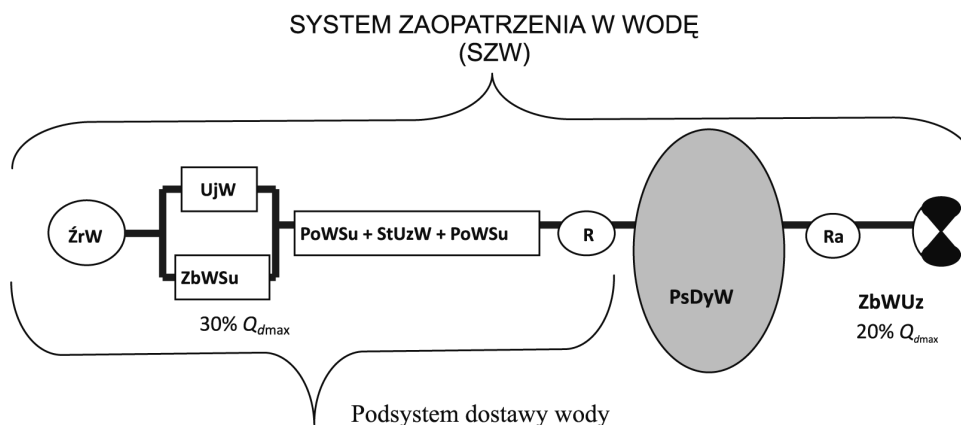
System zaopatrzenia w wodę składa się z następujących obiektów (rys. 2): ujęcia wody na rzece Dunajec (UjW1), pompowni wody surowej (PoSuW), stacji uzdatniania wody (StUzW), pompowni wody uzdatnionej (PoWUz1 i PoWUz2), ujęcia wody na rzece Uszwicy zasilające układ UZW2, podsystem dystrybucji wody w Brzesku współpracuje z dwoma zbiornikami wyrównawczymi (ZbWUz 2) i (ZbWUz3).

5. Charakterystyka systemu zaopatrzenia w wodę miasta Dębica

Miasto Dębica liczy ok. 48 tysięcy mieszkańców. Zaopatrywane jest w wodę pitną z jednego układu zasilania UZW1 (rys. 3). Maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę wynosi $Q_{dmax} = 10\,900\text{ m}^3/\text{d}$.

System zaopatrzenia w wodę (SZW) miasta Dębica zasilany jest z nurtowego ujęcia wody powierzchniowej (UjW) na rzece Wisłoka. Ze względu na małe zróżnicowanie terenu na obszarze tym występuje tylko jedna strefa ciśnienia (rys. 3).

Wyniki przeprowadzonej dwuparametrycznej oceny niezawodności PsDoW potwierdzają, że najsłabszym elementem badanego podsystemu jest źródło wody. W celu podniesienia poziomu niezawodności badanego podsystemu zaproponowano budowę zbiornika wody surowej o pojemności 30% Q_{dmax} .



Objaśnienia: ZrW – źródło wody, UjW – ujęcie wody, ZbWSu – zbiornik wody surowej, PoWSu – pompownia wody surowej, StUzW – stacja uzdatniania wody, PoWUz – pompownia wody uzdatnionej, R, Ra – rurociągi, PsDyW – podsystem dystrybucji wody.

Explanatory notes: ZrW – water source, UjW – water intake, ZbWSu – raw water reservoir, PoWSu – raw water pumping station, StUzW – water treatment plant, PoWUz – treated water pumping station, R, Ra – pipelines, PsDyW – water distribution subsystem.

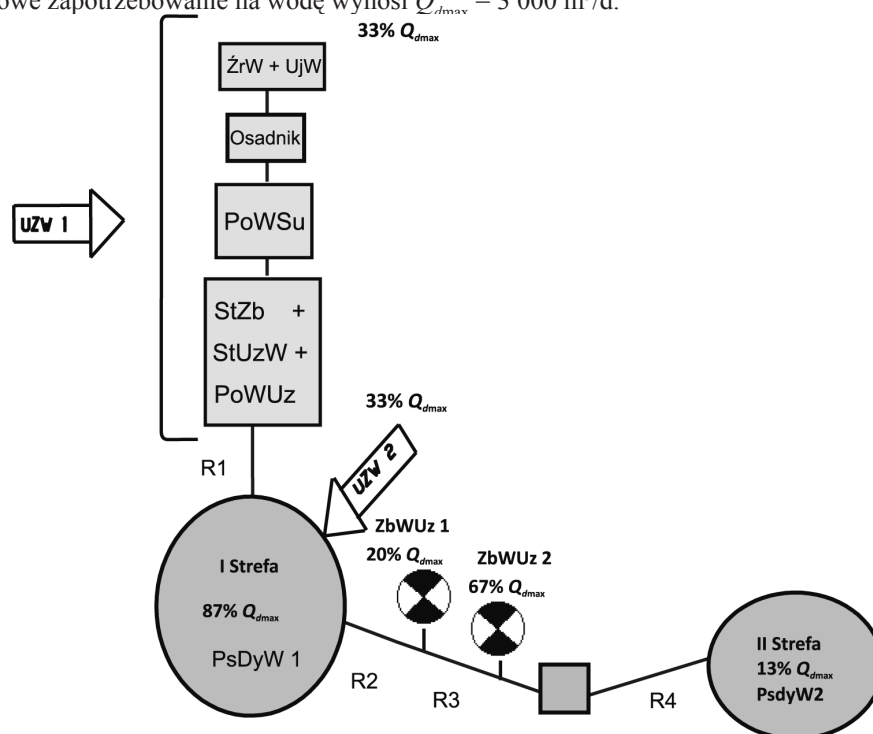
Rys. 3. Schemat badanego systemu zaopatrzenia w wodę (po modernizacji) miasta Dębicy

Fig. 3. Scheme of the investigated water supply system (after modernization) for Debica

System zaopatrzenia w wodę (po modernizacji) składa się z następujących obiektów (rys. 3): ujęcia wody na rzece Wisłoka (UjW), zbiornika wody surowej (ZbWSu), pompowni wody surowej (PoSuW), stacji uzdatniania wody (StUzW), pompowni wody uzdatnionej (PoWUz), zbiornika wyrównawczego wody uzdatnionej (ZbWUz), podsystemu dystrybucji wody (PsDyW).

6. Charakterystyka systemu zaopatrzenia w wodę miasta Proszowice

Miasto Proszowice liczy ok. 17 tysięcy mieszkańców. Zaopatrywane jest w wodę pitną z dwóch układów zasilania: UZW1 oraz awaryjnego UZW2 (rys. 4). Ze względu na okresowe problemy z jakością wody, woda jest zakupywana z Radzimir UZW2. Maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę wynosi $Q_{dmax} = 3\ 000\ m^3/d$.



Objaśnienia: ŹrW – źródło wody, UjW – ujęcie wody, PoWSu – pompownia wody surowej, StZb – studnia zbiorcza, StUzW – stacja uzdatniania wody, PoWUz – pompownia wody uzdatnionej, R1, R2, R3, R4 – rurociągi, PsDyW1 i PsDyW2 – podsystemy dystrybucji wody, ZbWUz1, ZbWUz2 – zbiorniki wody uzdatnionej, Hr – hydrofornia.

Explanatory notes: ZrW – water source, UjW – water intake, PoWSu – raw water pumping station, StZb – collecting well, StUzW – water treatment plant, PoWUz – treated water pumping station, R1, R2, R3, R4 – pipelines, PsDyW1, PsDyW2 – water distribution subsystems, ZbWUz1, ZbWUz2 – treated water reservoirs, Hr – hydrophone rooms.

Rys. 4. Schemat istniejącego stanu systemu zaopatrzenia w wodę dla Proszowic

Fig. 4. Scheme of the existing state of the water supply system for Proszowice

System zaopatrzenia w wodę jest dwustrefowy i składa się z następujących obiektów (rys. 4): ujęcia wody na rzece Ścieklec (UjW), zbiornika osadnika (osadnik), pompowni wody surowej (PoWSu), stacji uzdatniania wody (StUzW), pompowni wody uzdatnionej (PoWUz), zbiorników wyrównawczych wody uzdatnionej (ZbWUz1 i ZbWUz2), podsystemów dystrybucji wody (PsDyW1 i PsDyW2) oraz hydroforni tłoczącej wodę do strefy II.

7. Wnioski

Przeprowadzona ocena jednoparametryczna uogólnionym wskaźnikiem K_u niezawodności czterech systemów zaopatrzenia w wodę pozwoliła na przedstawienie stanu istniejącego badanych systemów i propozycji ich modernizacji:

- liczba mieszkańców badanych miast waha się od 17 do 50 tysięcy,
- badane systemy posiadają od jednego do trzech układów zasilania w wodę oraz 1–5 stref ciśnienia,
- charakterystyczne maksymalne zapotrzebowanie wynosi od 3000 do 11 200 m³/d, natomiast jednostkowe zapotrzebowanie netto na mieszkańca wynosi od 78 do 91 dm³/d,
- zaobserwowane przyczyny uszkodzeń i przestojów w badanych systemach wiązały się z losowymi zdarzeniami w źródle wody, awariami technicznymi i brakiem energii elektrycznej,
- najslabszym elementem w schematach niezawodnościowych badanych systemów okazało się źródło wody,
- przeprowadzona ocena jednoparametryczna czterech systemów badanych miast (tab. 1) potwierdza konieczność modernizacji trzech systemów.
- biorąc pod uwagę uzyskane wyniki na podstawie analizy niezawodnościowej badanych systemów zaopatrzenia w wodę, można wyciągnąć następujące wnioski:
- istniejący system zaopatrzenia w wodę miasta Andrychowa nie spełnia warunku $K_u \geq K_{uw} = 0,9861849$,
- w celu podniesienia niezawodności systemu dla miasta Andrychowa proponuje się modernizację komór zasuw istniejących zbiorników ZbWUz1 i ZbWUz2 oraz budowę dwóch nowych zbiorników o pojemności 20% Q_{dmax} zasilających strefy V, III, IV. W tym przypadku badany system SZW spełni swoje zadania,
- istniejący system zaopatrzenia w wodę miasta Brzeska nie spełnia warunku $K_u \geq K_{uw} = 0,9980257$,
- w celu podniesienia niezawodności systemu proponuje się dla miasta Brzeska budowę nowego zbiornika o pojemności 30% Q_{dmax} w II strefie. Równocześnie w przypadku awarii UZW1, układ zasilania UZW2 z Uszwicy musi podać 38% Q_{dmax} . W tym przypadku badany system SZW spełni swoje zadania,
- istniejący podsystem dostawy wody miasta Dębica nie spełnia warunku $K_u \geq K_{uw}$ (PsDoW),
- w celu podniesienia niezawodności systemu proponuje się dla miasta Dębicy budowę retencyjnego zbiornika wody surowej o pojemności 30% Q_{dmax} . W tym przypadku badany system SZW spełni swoje zadania,
- istniejący system SZW dla Proszowic spełnia swoje zadanie, biorąc pod uwagę ilość dostarczanej wody,

Tabela 1
Zestawienie uogólnionych wskaźników niezawodności badanych systemów zaopatrzenia w wodę
(stanu istniejącego i po ich modernizacji)

SZW miasta Andrychów	Uogólniony wskaźnik K_u
Istniejący stan systemu	$0,981761168 \leq K_{uw}$ $= 0,9861849$
I etap modernizacji polega na zmianie w komorze zasuw połączeń zbiorników i instalacji zasuw awaryjnej ZbWUz2 i ZbWUz3. Udogodnieniem tego rozwiązania będzie możliwość ciągłego poboru wody z UZW2 i UZW3 oraz dostawa wody do strefy IV w momencie wystąpienia awarii któregośkolwiek z ww. zbiorników.	$0,982400901 \leq K_{uw}$ $= 0,9861849$
II etap modernizacji dotyczy propozycji budowy nowego zbiornika o pojemności 20% Q_{dmax} w strefie I	$0,984876103 \leq K_{uw}$ $= 0,9861849$
III etap modernizacji dotyczy budowy drugiego nowego zbiornika o pojemności 20% Q_{dmax} zasilającego strefy I, II. Badany system będzie wówczas wspomagany przez nowy zbiornik w sytuacji awarii jednego z dwóch układów zasilania UZW2, UZW3.	$0,992967217 \geq K_{uw}$ $= 0,9861849$
SZW miasta Brzeska	
Istniejący stan systemu przy uwzględnieniu możliwości poboru wody z ZbWUz3 o pojemności 17% Q_{dmax} oraz możliwości dostawy wody z układu zasilania UZW2 – ok. 5% Q_{dmax}	$0,9895769 \leq K_{uw}$ $= 0,9956733$
System zaopatrzenia w wodę z dwoma układami zasilania UZW1 i UZW2, przy uwzględnieniu rezerwy w ZbWUz3 o pojemności 17% Q_{dmax} po modernizacji: dotyczącej zmiany technicznego połączenia zbiornika ZbWUz2 (tzn. zmiany uzbrojenia komory zasuw) i budowy nowego zbiornika ZbWUz (nowy) o pojemności 30% Q_{dmax} oraz zapewnienia dostawy wody z UZW2 ok. 38% Q_{dmax} .	$0,9980257 \geq K_{uw}$ $= 0,9956733$
SZW dla miasta Dębica	
Stan istniejący podsystemu PsDoW	$0,974372 \leq K_w$
Stan po modernizacji: PsDoW budowa zbiornika retencyjnego o pojemności 30% Q_{dmax}	$0,989758 \geq K_{uw}$ $= 0,9861849$
Stan po modernizacji: SZW dotyczącej budowy zbiornika wody surowej o pojemności 30% Q_{dmax}	$0,9909250 \geq K_{uw}$ $= 0,9861849$
SZW miasta Proszowice	
System funkcjonuje z podstawowym układem zasilania UZW1-33% Q_{dmax} i z możliwością zakupu wody z Radzimir w ilości 33% Q_{dmax} UZW2.	$0,9949591 \geq K_{uw}$ $= 0,9861849$
System funkcjonuje tylko z podstawowym układem zasilania UZW1 w ilości 40% Q_{dmax} .	$0,9829760 \geq K_{uw}$ $= 0,9861849$
System funkcjonuje z podstawowym układem zasilania UZW1-97,5% Q_{dmax} i z możliwością zakupu wody z Radzimir w ilości 2,5% Q_{dmax} UZW2.	$0,9903515 \geq K_{uw}$ $= 0,9861849$
System funkcjonuje tylko z podstawowym układem zasilania UZW1 – 100% Q_{dmax} bez zakupu wody.	$0,9896010 \geq K_{uw}$ $= 0,9861849$

- w analizowanym okresie stwierdzono, że zakup wody z Radziemiec zwiększył się – i tak w 2002 roku wyniósł ok. 2,5% Q_{dmax} , natomiast już w 2007 roku ok. 33% Q_{dmax} . Zwiększenie ilości wody zakupionej z Radziemiec (woda o dobrej jakości) wiąże się ze wzrostem zapotrzebowania oraz losowymi zdarzeniami w źródle wody Scieklec i niespełnieniem warunku normatywnego co do jakości wody zgodnie z obowiązującą normą,
- proponowana modernizacja w celu wzmocnienia badanych systemów dotyczyła: instalacji przewodu z zasuwą awaryjną w komorze zasuw istniejących zbiorników przepływowych oraz budowy nowych rezerwowych zbiorników wody surowej i uzdatnionej,
- wybór koncepcji modernizacji badanych systemów zaopatrzenia w wodę musi być poparty analizą ekonomiczną,
- system zaopatrzenia wody w Andrychowie posiada stację wczesnego ostrzegania biomonitoringu „Symbio”, przed nagłymi losowymi zanieczyszczeniami w źródle wody,
- w celu prawidłowego działania pozostałych systemów zaopatrzenia w wodę należy przewidzieć stację wczesnego ostrzegania z aparaturą określającą jakość wody surowej.

Literatura

- [1] Budziło B., Biedroń S., *Ocena niezawodności podsystemu dostawy wody dla miasta Myślenice*, Materiały z I Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Bezpieczeństwo i niezawodność działania systemów gazowych, wodociagowych, kanalizacyjnych i centralnego ogrzewania, Zakopane 8–10 października 1997.
- [2] Budziło B., Filimowski J., *Ocena niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę miasta Limanowa*, Materiały z Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej, Szczyrk 10–11 maja 2001.
- [3] Budziło B., Filimowski J., *Ocena niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę miasta Skawina*, Materiały z II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Bezpieczeństwo i niezawodność diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociagowych, kanalizacyjnych, Zakopane 21–23 listopada 2001.
- [4] Budziło B., Małysz R., *Assesment of functioning water supply for Myślenice City town*, Specialised Confrence: Management of productivity at Water Utilities, June 12–14 2002, Praha, Czech Republic (poster).
- [5] Budziło B., *Ocena funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę*, Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Vol. 32, II Kongres Inżynierii Środowiska Materiały, t. 1, Lublin 2005, 353-363.
- [6] Budziło B., Wypart E., *Ocena niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę dla Andrychowa*, V Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody, Szczyrk 13/15 maja 2009, 321-330.
- [7] Budziło B., Panuś K., *Ocena niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę dla Proszowic*, maszynopis oddany do druku Gaz Woda Technika Sanitarna.
- [8] Budziło B., Olszański K., *Ocena niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę dla Brzeska*, maszynopis przygotowany do druku.
- [9] Budziło B., Tyrała P., *Modernization of water supply system based on reliability Analisis*, Eighth BNAWQ Scientific and Practical Conference: Water quality technologies and Management in Bulgaria, 19–20 February, Sofia 2003.

- [10] Budziło B., *Assessment of random events at river water intakes*, Water Pollution VII: Modelling, Measuring and Prediction, Hiszpania.
- [11] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczekiewicz H., *Niezawodność Wodociągów i Kanalizacji*, Arkady, Warszawa 1993.
- [12] Kwietniewski M., Wójcik R., *Ocena niezawodności systemu dostawy wody do Szczecina*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1/2001.
- [13] Wieczysty A., Rak J., *Niezawodność zaopatrzenia miasta Rzeszowa w wodę*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 2/3, 1988.
- [14] Wieczysty A., *Niezawodność Systemów Wodociągowych i Kanalizacyjnych*, cz. 1–2, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
- [15] Wieczysty A., Lubowiecka T., *Niezawodność systemu zaopatrzenia w wodę m. Krakowa (stan w roku 1992 i prognoza na r. 2015)*, Materiały Miejscowego Planu Ogólnego Zagospodarowania Przestrzennego m. Krakowa, Kraków 1993.
- [16] Wieczysty A. i in., *Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2001.