

Dariusz KOWALSKI¹, Beata KOWALSKA¹,
Marian KWIETNIEWSKI², Joanna SYGACZ-ADAMSKA¹

¹Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Lubelska

²Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska

ANALIZA BILANSU WODY ORAZ AWARYJNOŚCI WYBRANEGO SYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY

ANALYSIS OF WATER BALANCE AND RELIABILITY OF CHOSEN WATER DISTRIBUTION SYSTEM

The paper presents the analysis of water balance and reliability of the selected water distribution system. Investigated water supply network contains conduits of 190 km length (without house connections). The analysis covered the period 2000 – 2010 year. Application of IWA methodology to presented investigations allowed the estimation of indicators of real water losses. The estimation of basic reliability indicators was also performed. The paper presents changes of these indicators values during the time. The obtained values were compared to results received from other, similar water networks in Poland.

1. Wprowadzenie

Gospodarka rynkowa wymaga od przedsiębiorstw przede wszystkim generowania zysku. Nieco inaczej wygląda to w przypadku przedsiębiorstw wodociągowych. Głównym ich zadaniem jest zaopatrzenie odbiorców w wodę zużywaną na cele bytowe i gospodarcze [16]. Prawidłowość funkcjonowania przedsiębiorstw wodociągowych uzależniona jest jednak, między innymi, od bilansu ich efektywności i dostępnego poziomu finansowania [1,7, 15]. Z punktu widzenia efektywności bardzo istotny jest poziom strat wody [8]. Jego prawidłowe określenie nie jest jednak łatwe, chociażby ze względu na niepewności pomiarowe [9]. Stosowane są tu metody uproszczone jak również rozbudowane, oparte o metodologie zalecaną przez International Water Association (IWA). Obie metody opierają się o sporządzenie bilansu wody, jako głównego produktu przedsiębiorstw wodociągowych [4, 12]. Na tej podstawie określana jest wskaźnikowo wielkość strat wody odniesiona np. do 1 km długości przewodów, jednego mieszkańca czy przyłącza wodociągowego. Możliwe jest także określenie objętości wody przynoszącej i nieprzynoszącej dochód, jak również tzw. strat rzeczywistych i pozornych. Uzyskane wielkości wskaźnikowe pozwalają na porównanie efektywności

produkcji wody różnych przedsiębiorstw, jak również wskazują na konieczność podejmowania działań zmierzających do ograniczania strat wody [5]. Ich analiza w dłuższym okresie czasu pozwala na ocenę skuteczności tych działań, jak również ułatwia prowadzenie polityki modernizacji sieci [3, 13].

Drugim elementem wpływającym na efektywność funkcjonowania przedsiębiorstw wodociągowych jest ocena niezawodnościowa pracy poszczególnych elementów systemu wodociągowego, ze szczególnym uwzględnieniem podsystemu dystrybucji wody [17]. Wskaźnikowa ocena tej niezawodności pozwala nie tylko określić stan techniczny badanych elementów systemu, ale również prawidłowość procesu usuwania awarii. Pomocne w tej ocenie może być porównanie wyznaczonych wskaźników z wartościami określonymi dla innych przedsiębiorstw [2]. Jednym z najłatwiejszych do uzyskania wskaźników z tej grupy jest wskaźnik intensywności uszkodzeń, określający liczbę awarii w ciągu roku odniesioną do jednostkowej długości przewodów [11]. Oczywiście określenie tego wskaźnika należy traktować jako wstęp do dalszej analizy niezawodnościowej. Jego wartość pozwala jednak na wstępną ocenę technicznej strony funkcjonowania danego przedsiębiorstwa z innymi tego typu zakładami.

Wskaźnikowe określenie poziomu strat wody, jak również niezawodności funkcjonowania kolejnych elementów systemu wodociągowego ułatwia znacząco podejmowanie decyzji o kierunkach i zakresie działań przedsiębiorstw. Uzyskane wartości powinny być jednak porównywane z wartościami określonymi w warunkach innych przedsiębiorstw. Porównanie to staje się jednak utrudnione przy braku łatwo dostępnych danych. W tym kontekście, zdaniem autorów artykułu, wydaje się celowe publikowanie rezultatów badań bilansowych i niezawodnościowych w kolejnych przedsiębiorstwach wodociągowych.

2. Metodyka badań

W ramach prezentowanego artykułu przedstawiono rezultaty prac ukierunkowanych na sporządzenie bilansu wody zarówno uproszczonego, jak i opartego na metodologii IWA, dla wybranego przedsiębiorstwa wodociągowego. Dodatkowo, wykorzystując dane uzyskane w tym przedsiębiorstwie, określono wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń, odniesionego do całkowitej długości sieci, jak również dla przewodów magistralnych, rozdzielczych i przyłączy wodociągowych. Badaniem objęto okres roku 2000 do 2010.

2.1. Uproszczony bilans wody

W ramach prezentowanej analizy zrealizowano następujące obliczenia:

- strat całkowitych wody (S), m^3/rok

$$S = Q_w - Q_s - Q_{wt} \quad (1)$$

gdzie: Q_w – ilość wody wyprodukowanej, m^3/r ; Q_s – całkowita ilość wody sprzedanej, m^3/r ; Q_{wt} – ilość wody zużytej na potrzeby własne, m^3/r .

- procentowego wskaźnika strat całkowitych ($W_{\%}$) (%)

$$W_{\%} = \frac{S}{Q_w} \cdot 100\% \quad (2)$$

- jednostkowego wskaźnika strat wody odniesionych do długości sieci w ciągu doby, W_L , $m^3/km \cdot d$,
- jednostkowego wskaźnika strat wody przypadających na jednego mieszkańca w ciągu doby, W_M , $m^3/(mk \cdot d)$
- jednostkowego wskaźnika strat wody przypadających na jedno przyłącze w ciągu doby, W_P , $m^3/(przyłącze \cdot d)$

2.2. Sporządzenie bilansu wody metodą IWA

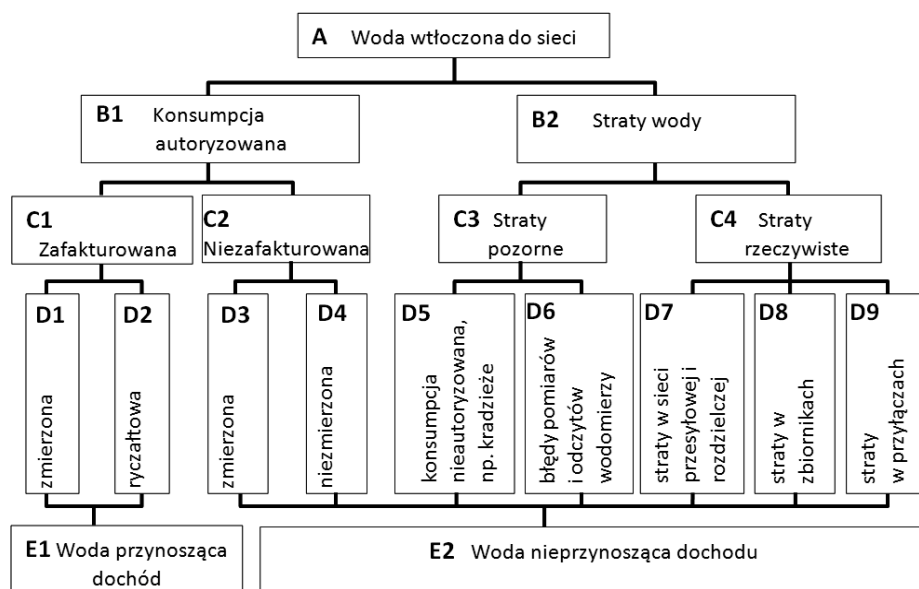
W artykule wykorzystano także jedną z najczęściej stosowanych metod sporządzania bilansu wody, która została opracowana przez International Water Association [12]. W tej metodzie ilość wody podzielona jest na dwie kategorie:

- woda zużyta na konsumpcję, pobierana w sposób autoryzowany, określana na podstawie obowiązującego w danym systemie sposobu jej rozliczania oraz pomiarów odpowiednimi przyrządami,
- woda tracona, z podziałem na straty pozorne i rzeczywiste. Do strat pozornych zaliczono nieautoryzowany pobór wody oraz błędy wynikające z niedokładności urządzeń pomiarowych oraz niejednoczesności odczytów wskazań wodomierzy. Do strat rzeczywistych zaliczono też straty wody powstające na skutek wycieków i działania przelewów w zbiornikach magazynujących.

Dodatkowo standard IWA zaleca podział produkowanej przez przedsiębiorstwa wody na przynoszącą i nieprzynoszącą dochód. Schemat kolejności sporządzania bilansu wody przedstawiono na rys. 1.

Bilans wody sporządzano zgodnie z następującymi etapami:

- określono ilość wody wtłoczonej do sieci wodociągowej (A) - odczyt wodomierza głównego,
- obliczono ilość wody zafakturowanej - zmierzonej przez wodomierze (D1) i określonej na podstawie ryczałtowej (D2), ich sumę wpisano do rubryki (C1) jako zafakturowaną i autoryzowaną konsumpcję ($C1=D1+D2$) oraz do (E1) jako wodę przynoszącą dochód,
- określono wodę nieprzynoszącą dochodu (E2) jako różnicę pomiędzy wodą wtłoczoną do sieci (A) i wodą przynoszącą dochód (E1),



Rys. 1. Schemat opracowywania bilansu wody metodą IWA (Opracowanie własne na podstawie [14])

Fig. 1. The flowchart of water balance elaboration by IWA metod (prepared based on [14])

- sumę objętości wody niezafakturowanej: pomierzonej (D3) i niepomierzonej (D4), przypisano jako (C2),
- autoryzowaną konsumpcję (B1) obliczano jako sumę konsumpcji zafakturowanej (C1) i niezafakturowanej (C2),
- straty wody (B2) obliczono jako różnicę pomiędzy wodą wtłoczoną do sieci (A) i autoryzowaną konsumpcją (B1),
- nieautoryzowaną konsumpcję (D5) przyjęto w wysokości 10% całkowitych strat wody, zaś błędy pomiarów i odczytów wodomierzy (D6) założono w wysokości 3%, przyjęto, że suma tych dwóch wskaźników stanowi wielkość strat pozornych (C3),
- straty rzeczywiste (C4) obliczono jako różnicę pomiędzy stratami wody (B2) i pozornymi stratami (C3),
- ze względu na brak odpowiednich danych wartości D7, D8, D9 określono łącznie, jako odpowiadającą wielkości strat rzeczywistych (C4).

2.3. Badania wskaźnika intensywności uszkodzeń

W ramach prezentowanej analizy wyznaczano następujące wskaźniki niezawodnościowe:

- średnia jednostkowa intensywność uszkodzeń sieci wodociągowej wraz z przyłączami, uszk/(km·rok) (Kwietniewski i inni 1993)

$$\lambda = \frac{n_a}{L} \quad (3)$$

gdzie: n_a – liczba awarii sieci i przyłączy w ciągu roku, L – średnia długość sieci wodociągowej wraz z przyłączami w roku, km.

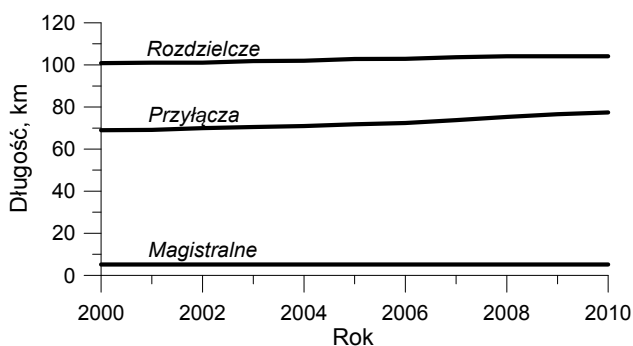
- średnia jednostkowa intensywność uszkodzeń sieci rozdzielczej oraz średnia intensywność uszkodzeń przyłączy wodociągowych: liczona w sposób analogiczny do wzoru (3).

3. Obiekt badań

Rozpatrywany system wodociągowy zaopatruje w wodę ok. 36,7 tys. mieszkańców. W jego skład wchodzi dwie strefy sieci wodociągowej o następującej strukturze (dane z roku 2010):

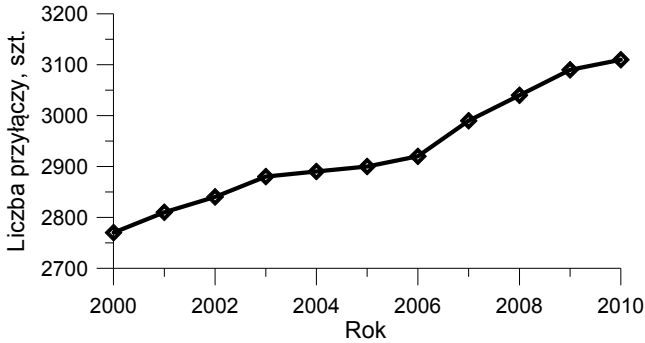
- przewody magistralne, stalowe - 5,2 km
- przewody rozdzielcze – 104,1 km (50% azbestocement, 40% żeliwo szare, 10% inne).

Wiek przewodów oceniany jest w większości na ok. 30 ÷ 50 lat. Woda tłoczona do sieci dystrybucyjnej pochodzi z całości z ujęć podziemnych i nie wymaga uzdatniania. Zmiany długości przewodów wodociągowych, liczby przyłączy oraz produkcji wody w analizowanym okresie przedstawiono na kolejnych rys. 2, 3 i 4.



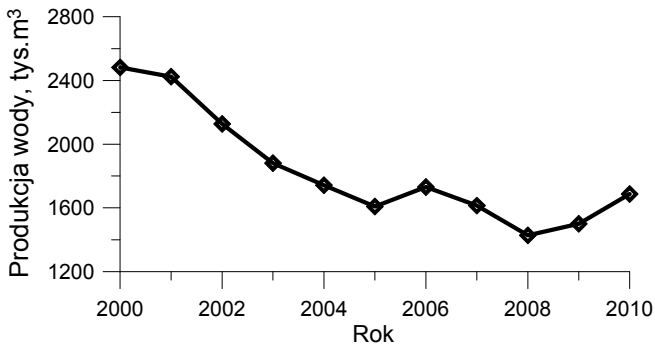
Rys. 2 Zmiany długości sieci wodociągowej z przyłączami w latach 2000-2010

Fig. 2. The changes of water supply nets between 2000-2010 year (from the top: distribution, house connection and main pipes)



Rys. 3 Zmiany liczby przyłączy w latach 2000 - 2010

Fig. 3. The changes of house connection number



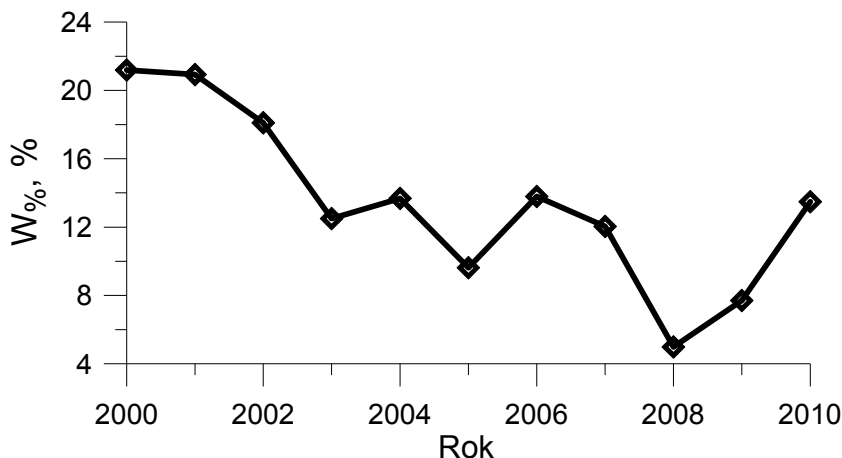
Rys. 4 Zmienność produkcji wody w analizowanym systemie wodociągowym w latach 2000 – 2010

Fig. 4. Changes of water production in analysed water system between 2000 and 2010 year

Biorąc pod uwagę powyższe dane można wnioskować, że analizowany system dystrybucji wody posiada szereg cech charakterystycznych dla miast Polski o zbliżonej liczbie mieszkańców tj. brak wzrostu długości przewodów magistralnych, niewielki wzrost długości przewodów rozdzielczych i stosunkowo duży przyrost liczby i długości przyłączy oraz charakterystycznym spadkiem produkcji wody [6].

4. Wyniki badań

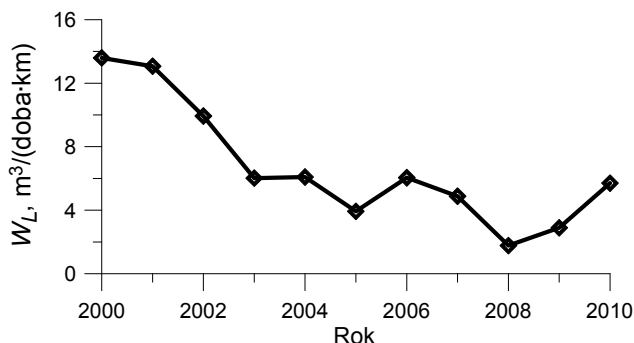
Zgodnie z przyjętą metodyką badań określono w pierw procentowy wskaźnik całkowitych strat wody w analizowanym systemie wodociągowym (rys. 5).



Rys. 5. Procentowy wskaźnik całkowitych strat wody ($W\%$) w latach 2000-2010 w analizowanej sieci wodociągowej

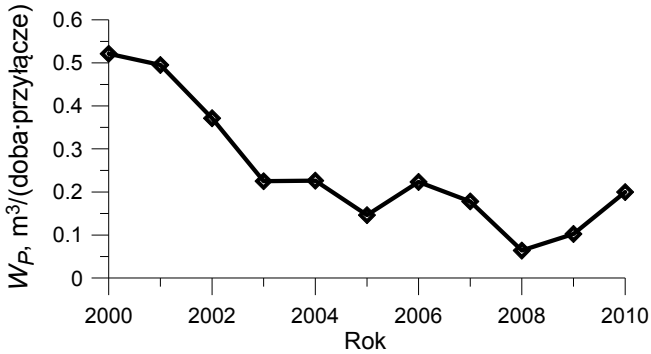
Fig. 5. The percentage indicator of total water loss ($W\%$) between 2000 and 2010 year, of investigated water network

W dalszej kolejności określono wartości jednostkowych wskaźników całkowitych strat wody (rys. 6, 7, 8).



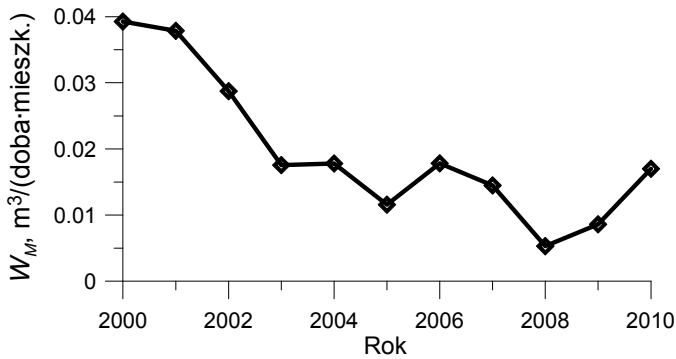
Rys. 6. Zmienność jednostkowego wskaźnika strat wody na długości sieci wodociągowej (bez przyłączy) W_L , w okresie 2000 – 2010

Fig. 6. Changes of water loss divided by network's pipe length (without house connections) W_L , between 2000 and 2010 year



Rys. 7. Zmienność jednostkowego wskaźnika strat wody na jedno przyłącze W_p , w okresie 2000 – 2010

Fig. 7. Changes of water loss divided by number of house connections W_p , between 2000 and 2010 year



Rys. 8. Zmienność jednostkowego wskaźnika strat wody na jednego mieszkańca W_m , w okresie 2000 – 2010

Fig. 8. Changes of water loss divided by customer numbers W_m , between 2000 and 2010 year

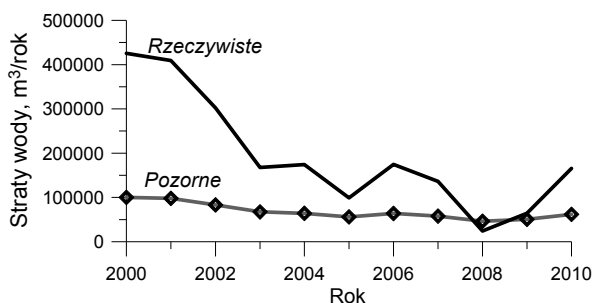
W dalszej kolejności, sporządzono bilanse wody zgodnie z zaleceniami IWA. Przykład bilansu za rok 2010 przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Bilans wody w rozpatrywanym systemie wodociągowym w 2010 roku, sporządzony zgodnie z zaleceniami IWA, m³/rok. Oznaczenia jak na rys. 1, BD – brak danych

Tab. 1. The water balance of investigated system In 2010 year, realised using IWA methodology. Symbols as at fig 1, BD – no data available

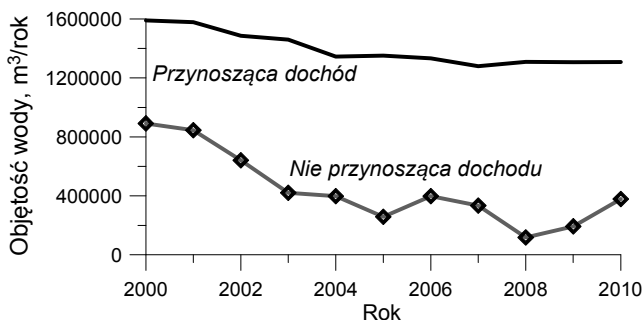
A - 1 687 252								
B1 - 1 459 578				B2 - 227 674				
C1 - 1 307 796		C2 - 151 782		C3 - 62 001		C4 - 165 673		
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1 307 796	0	151 782	0	22 767	39 234	BD	BD	BD
E1 - 1 307 796		E2 - 379 456						

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń opracowano wykresy zmian bezwzględnych wartości strat rzeczywistych i pozornych (rys. 9) oraz objętości wody przynoszącej i nieprzynoszącej dochód (rys. 10) w kolejnych latach.



Rys. 9. Straty rzeczywiste i pozorne

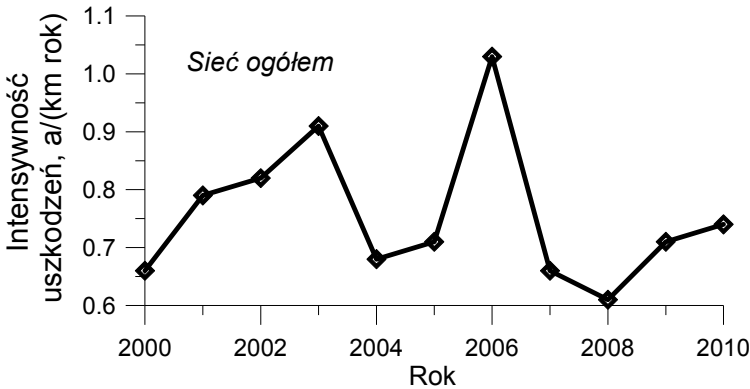
Fig. 9. Real (top) and apparent (bottom) water loss



Rys. 10. Objętość wody przynoszącej i nieprzynoszącej dochód

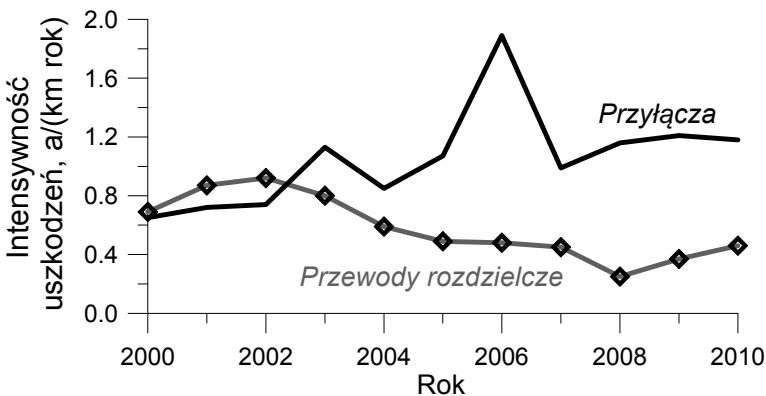
Fig. 10. Revenue (top) and non-revenue (bottom) water volume

Kolejnym krokiem było wyznaczenie wartości jednostkowego wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów analizowanej sieci wodociągowej i przyłączy. Stosowne obliczenia przeprowadzono zgodnie z wcześniej przedstawioną metodyką badań, a wyniki przedstawiono na wykresach (11, 12) ilustrujących jednocześnie zmiany wskaźnika w funkcji czasu dla poszczególnych obiektów badawczych (sieć wodociągowa, przewody rozdzielcze, przyłącza). W latach 2000-2010 nie wystąpiły awarie przewodów magistralnych.



Rys. 11. Zmiany jednostkowej intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej i przyłączy (przewody ogółem) w latach 2000 - 2010

Fig. 11. Changes of damage intensity indicator of total water network lenght (include house connections) between 2000 and 2010 year



Rys. 12. Zmiany jednostkowej intensywności uszkodzeń przewodów rozdzielczych i przyłączy w latach 2000 - 2010

Fig. 12. Changes of damage intensity indicator of distribution pipes length between 2000 and 2010 year

5. Dyskusja wyników

Rozpatrywany system dystrybucji wody cechuje się w ostatnich 10 latach niemal niezmienną długością przewodów. Nie rozbudowywano w tym czasie sieci przewodów magistralnych, długość przewodów rozdzielczych wzrosła o ok. 4%, zaś długość przyłączy o ok. 12%. Oznacza to, że przedsiębiorstwo zarządzające analizowanym systemem mogło w tym czasie skupić się na działaniach zmierzających do poprawy efektywności jego działania.

Analizując wyniki sporządzonego bilansu wody należy stwierdzić, że podobnie jak w innych miastach naszego kraju widoczny jest spadek produkcji wody. Na skutek działań prowadzonych przez przedsiębiorstwo wodociągowe nastąpił znaczący spadek całkowitych strat wody (z 21,5% w roku 2000 do 13,8% w roku 2010, z minimum wynoszącym w roku 2008 4,9%). Systematycznie malały także jednostkowe wskaźniki strat wody odniesione do 1 km długości sieci wodociągowej bez przyłączy (z 13,6 m³/d w roku 2000 do 5,7 m³/d w roku 2010), odniesione do 1 przyłącza (ze 0,52 m³/d w roku 2000 do 0,20 m³/d w roku 2010), jak również w odniesieniu do 1 mieszkańca (z 39 dm³/d w roku 2000 do 17 m³/d w roku 2010).

Obliczone przy wykorzystaniu tych wskaźników bezwzględne wartości strat wody w ostatnim roku obserwacji (2010) oraz obliczone na ich podstawie koszty traconej wody, przy założonej jednostkowej cenie wody wynoszącej w przedsiębiorstwie 2,94 zł./m³ netto, zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. *Bezwzględne wartości rocznych strat wody oraz ich koszty wg obliczonych wskaźników z 2010 roku*

Tab. 2. *The values of water loss (m³/year) and their costs, by indicators calculated i=for 2010 year*

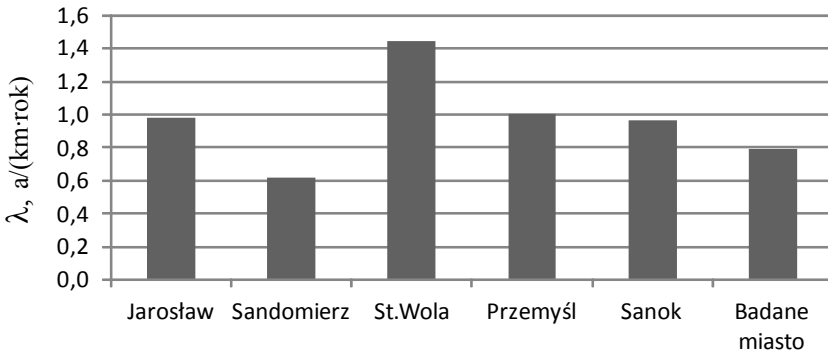
Straty odniesione do	m ³ /rok	Cena jednostkowa wody w badanym przedsiębiorstwie (netto)	Koszty, zł/rok
1 km długości sieci (bez przyłączy)	2 083	2,94 zł./m ³	6124,0
1 przyłącza	73		214,6
1 mieszkańca korzystającego z wodociągu miejskiego	6,2		18,2
Woda nie przynosząca dochodu	379 456		1 115 601,0

Wykorzystując metodykę IWA sporządzania bilansu wody stwierdzono stały, choć stosunkowo niewielki, spadek wielkości strat pozornych (ze 100 tys. m³ w roku 2000 do 62 tys. m³ w roku 2010). Znacznie większy spadek odnotowano w analizowanym okresie w przypadku strat rzeczywistych (z 450 tys. m³ w roku 2000 do 166 tys. m³ w roku 2010). Uzyskane dane świadczą o dużym wysiłku analizowanego przedsiębiorstwa ukierunkowanym na ograniczenie wycieków i stałej poprawie systemu opomiarowania odbiorców sieci. Na skutek tych działań udało się znacząco ograniczyć objętość wody nie przynoszącej dochodu (z 900 tys. m³ w roku 2000 do 380 tys. m³ w roku 2010). Warto jednak zwrócić uwagę, że nadal jest to wielkość znacząca i podjęte przez przedsiębiorstwo działania poprawiające efektywność funkcjonowania systemu dystrybucji wody powinny być kontynuowane.

Biorąc pod uwagę wyznaczone wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń należy stwierdzić, że w przypadku analizowanego systemu dystrybucji wody trudno wyróżnić trend zmian w analizowanym okresie, w odniesieniu do całkowitej długości przewodów. W przypadku przyłączy daje się jednak zauważyć trend wzrostowy tego wskaźnika (od 0,63 w roku 2000 do 1,18 uszk/km rok w 2010). Odmienne przedstawia się sytuacja w odniesieniu do przewodów rozdzielczych (spadek od 0,65 w roku 2000 do 0,43 uszk/km rok w roku 2010). Mimo tego, że w analizowanym okresie nie stwierdzono awarii przewodów magistralnych, sieć wodociągową jako całość można w uproszczeniu zakwalifikować do kategorii średniej awaryjności/niezawodności ($0,1 < \lambda \leq 0,5$ uszk/(km-rok)) wg klasyfikacja zaproponowanej w pracy [10].

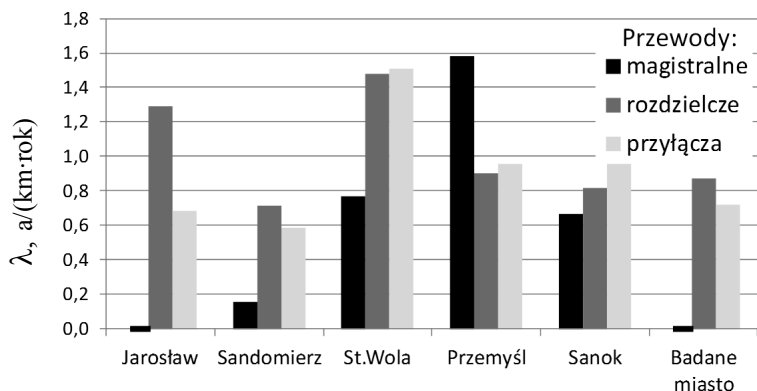
Podane powyżej wartości liczbowe wskaźnika intensywności uszkodzeń warto porównać również z uzyskanymi w warunkach innych, zbliżonych wielkościami miast. Wykorzystano w tym celu dane uzyskane na podstawie zapytań ankietowych. Z racji różnego zakresu czasowego analiz niezawodnościowych prowadzonych w tych przedsiębiorstwach porównywalne ich wyniki uzyskano jedynie dla 2001 roku (rys. 13, 14).

Porównanie wartości współczynnika intensywności uszkodzeń odniesionego do całkowitej długości sieci, jak również przewodów rozdzielczych i przyłączy (rys. 13 i 14) wskazuje, że system dystrybucji wody w badanym mieście oscyluje wokół wartości średniej dla innych zestawionych miast. W przypadku sieci magistralnych podobną sytuację, jak w badanym mieście (brak awarii) zaobserwowano tylko w Jarosławiu.



Rys. 13 Zestawienie wartości jednostkowego wskaźnika intensywności uszkodzeń λ (uszk/(km-rok)) odniesionego do całkowitej długości przewodów sieci wodociągowych w 2001 roku

Fig. 13. Comparison of damage intensity indicator λ values of total water network length (dam./km-year) in 2010 in various Polish cities



Rys. 14 Zestawienie wartości jednostkowego wskaźnika intensywności uszkodzeń λ (uszk/km·rok) odniesionego do długości przewodów magistralnych, rozdzielczych i przyłączy w 2001 roku

Fig. 14. Comparison of damage intensity indicator λ values (dam./km-year) in 2001 in various Polish cities. From the top: main, distribution and house connections pipes

6. Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki dwóch typów bilansu wody, uproszczonego i opartego o metodologię IWA, w warunkach wybranego miasta. Przeprowadzone analizy wykazały przydatność obu rodzajów bilansu do oceny efektywności funkcjonowania rozpatrywanego systemu wodociągowego. Przedstawione wartości wskaźników strat wody wskazują na istotny postęp dokonany w ostatnich 10 latach przez przedsiębiorstwo zarządzające tym systemem w zakresie ograniczania strat wody i podnoszenia efektywności funkcjonowania systemu. Uzyskane wartości wskazują jednocześnie na potrzebę kontynuowania tych działań.

Biorąc pod uwagę wyniki obliczeń wskaźnika intensywności uszkodzeń odniesionego do całości sieci, jak również przewodów rozdzielczych i przyłączy wodociągowych można stwierdzić, że uzyskane wartości sytuują rozpatrywany system jako średni, w porównaniu z wybranymi miastami o podobnej wielkości. Znacznie lepiej sytuacja wygląda w przypadku przewodów magistralnych, gdzie w ostatnich 10 latach nie stwierdzono żadnych awarii.

Zawarte w artykule wskaźniki obejmujące straty wody, jak również intensywność uszkodzeń przewodów, mogą być wykorzystywane do porównań liczbowych efektywności systemów wodociągowych w różnych miastach.

Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego Nr N R14 0006 10 nt. „Opracowanie kompleksowej metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców” w latach 2010-2013.

Bibliografia

- [1] COM/2000/477 Final Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and the Economic and Social Committee Pricing policies for enhancing the sustainability of water resources. Commission of the European Communities, Brussels, 26/07/2000,
- [2] Dąbrowski W. Porównaj swój wodociąg z innymi. [w:] Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych, VI Konferencja naukowo-techniczna, 2006, 55-65
- [3] Dąbrowski W. O współczesnych metodach zarządzania rewitalizacją sieci wodociągowych, Forum Eksploatatora, 2006, 1, 26-30
- [4] Dohnalik P. Zarządzanie i techniki strat wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2002, 7, 237-241
- [5] Dohnalik P., Jędrzejewski Z. Efektywna eksploatacja wodociągów – Ograniczanie strat wody, Lemtech Konsulting Kraków, 2004
- [6] Heidrich Z., Stańko G. Analiza zużycia wody w miastach polskich w latach 1980-2004 na podstawie danych statystycznych. *Kierunki rozwoju zaopatrzenia w wodę do picia. Materiały konferencyjne*, Nowogród, 2007, 25-35
- [7] Hirner W. Assessment of Water Supply Systems - German National Report Performance. IWA – World Water Congress – Berlin, 2001
- [8] Hotłoś H. Analiza strat wody w systemach wodociągowych. *Ochrona Środowiska*, 2003, 1, 17024
- [9] Królikowski A. Tuz P. Wskazania wodomierzy domowych i mieszkaniowych – przyczyny rozbieżności i metody bilansowania. *Gaz Woda Technika Sanitarna*, 2005, 2. 43-47
- [10] Kwietniewski M. (red.), Tłoczek M.(red.), Wysocki L. (red.) Zasady doboru rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych. Wyd. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”, Bydgoszcz, 2011
- [11] Kwietniewski M., M. Roman, H. Kłoss – Trębaczkiwicz: Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady Warszawa 1993
- [12] Lambert A., Hirner W. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures”, International Water Association „Blue Pages”, 2000
- [13] Siwoń Z. Cieżak J. , Cieżak W. Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych. *Ochrona Środowiska*, 2004, 4, 25-30
- [14] Speruda S., Radecki R. Ekonomiczny Poziom wycieków. Translator , Warszawa, 2003
- [15] Tuszyńska A., Knapik K. 2006, Koszty i ceny dostawy wody, *Wodociągi – Kanalizacja* Nr 3, s. 20-22

-
- [16] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. Dz.U. 2001 nr 72 poz. 747
- [17] Wiczysty A. red. Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Monografia Komitetu Inżynierii środowiska PAN, vol. 2. Kraków 2001

