

Andrzej STUDZIŃSKI<sup>1</sup>  
Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK<sup>2</sup>  
Wojciech KLUZ<sup>3</sup>

## **ANALIZA STRAT WODY W SIECI WODOCIĄGOWEJ W STALOWEJ WOLI**

W publikacji przedstawiono analizę strat wody w sieci wodociągowej Stalowej Woli przeprowadzoną na podstawie danych uzyskanych z Miejskiego Zakładu Komunalnego Sp. z o. o. Stalowa Wola podczas eksploatacji sieci wodociągowej w latach 2008-2013, a także danych Głównego Urzędu Statystycznego. Oszacowane straty wody mają wartości niższe niż te odnotowane przez inne systemy zaopatrzenia w wodę. W pracy dokonano także charakterystyki podstawowych informacji o systemie zaopatrzenia w wodę w Stalowej Woli. Uzyskane wyniki odniesiono do danych innych systemów zaopatrzenia w wodę znajdujących się w województwie podkarpackim. Obliczenie jednostkowych wskaźników strat wody pozwoliło na uzyskanie szczegółowego obrazu sytuacji eksploatacyjnej wodociągu. Wszystkie jednostkowe wskaźniki objętościowe dotyczące strat wody wykazują tendencję malejącą w badanym okresie. Jednostkowy wskaźnik obciążenia hydraulicznego w odniesieniu do całej długości sieci wodociągowej w przeciągu ostatnich 5 lat wahał się w granicach od 37,73 do 42,33 m<sup>3</sup>/km-d. Wskaźnik średniej wielkości strat w ciągu doby na jednego mieszkańca jest zbliżony do wartości odnotowanych w innych miastach w Polsce i zawiera się w przedziale od 5,99 do 11,96 dm<sup>3</sup>/M-d. Korzystny jest także iloraz rzeczywistych strat rocznych oraz nieuniknionych strat rzeczywistych definiowany jako infrastrukturalny indeks wycieków, który wynosi od 1,6 do 3,3.

**Słowa kluczowe:** sieć wodociągowa, straty wody, wskaźniki strat wody

### **1. Wprowadzenie**

Do końca lat 80. ubiegłego stulecia wielkości strat wody były monitorowane jedynie z powodu deficytu w zaopatrzeniu w wodę w niektórych miastach Polski. Ludność korzystająca z usług sieci wodociągowej nie była zainteresowa-

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Andrzej Studziński, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 865 1703, e-mail: astud@prz.edu.pl

<sup>2</sup> Katarzyna Pietrucha-Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 865 1703

<sup>3</sup> Wojciech Kluz, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 865 1703

na oszczędzaniem wody ze względu na niską cenę wody. Awaryjne wodociągów u odbiorców wody nie były naprawiane, ponieważ koszt naprawy był wyższy niż koszt traconej wody. W wyniku zmian gospodarczych na początku lat 90. cena wody znacząco wzrosła, powodując spadek objętości traconej wody [1-8]. Zmusiło to również przedsiębiorstwa wodociągowe do działań zmierzających do obniżania strat wody, co bezpośrednio przekładało się na wyniki finansowe przedsiębiorstwa.

Miasto jest obsługiwane przez wodociąg „Stalowa Wola”, którego głównym źródłem poboru wody są studnie ujęć „Krzyżowe Drogi” i „Stare Ujęcie”. Jest to sieć o geometrycznej strukturze mieszanej. Całkowita długość sieci wodociągowej wzrosła z 83,3 km w 2000 r. do 194,4 km w 2013. Większość przewodów rozdzielczych jest wykonanych z materiałów PVC i PE o średnicach nominalnych 80, 100, 150, 200 mm. Podłączenia większości użytkowników składają się z przewodów o średnicy DN 32 mm. W tabeli 1. zestawiono dane dotyczące długości poszczególnych przewodów wodociągowych.

Tabela 1. Zestawienie długości sieci magistralnej i rozdzielczej dla lat 2008-2013

Table 1. Summary of the main and distribution length for the years 2008-2013

Rodzaj danych	2009	2010	2011	2012	2013
Długość sieci magistralnej [km]	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5
Długość sieci rozdzielczej [km]	90,2	90,295	95,3	95,6	95,9
Całkowita długość sieci wodociągowej [km]	188,7	188,795	193,8	194,1	194,4

Całkowita długość sieci magistralnej jest od 2009 r. niezmienna i wynosi 98,5 km. W ciągu pięciu lat zmieniła się długość przewodów rozdzielczych z 90,2 do 95,9 km. Zwiększyła się także całkowita długość sieci wodociągowej o 5,7 km. W 2011 roku odnotowano największy jej przyrost, tj. 5,0 km. W 2009 roku podłączenia wodociągowe mierzyły 55,8 km, w 2012 były zaś o 3,04 km dłuższe. Liczba przyłączy wodociągowych z roku na rok zwiększała się, osiągając w 2011 r. wartość 2 599, tj. o 137 więcej niż w 2009 r. Jednocześnie odnotowano spadek liczby mieszkańców korzystających z wodociągu. Obecnie ok. 98% odbiorców ma dostęp do sieci zbiorowego zaopatrzenia w wodę.

Celem pracy jest analiza i ocena strat wody w mieście Stalowa Wola w latach 2008-2013.

## 2. Analiza strat wody

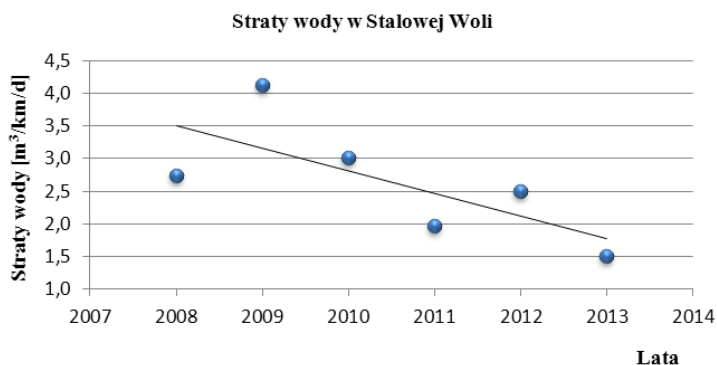
Analiza strat wody w stalowowolskich wodociągach została przeprowadzona na podstawie danych uzyskanych od MZK Stalowa Wola w latach 2008-2013 oraz danych Głównego Urzędu Statystycznego [9]. W tabeli 2. zestawiono wartości strat wody w systemie wodociągowym.

Tabela 2. Wartości strat w stalowowolskich wodociągach w latach 2008-2013

Table 2. The amount of losses in Stalowa Wola water supply for years 2008-2013

Rodzaj danych	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Objętość strat wody [m <sup>3</sup> ]	187000	284000	207000	139000	177000	106000
Dobowa objętość strat [m <sup>3</sup> /d]	512,33	778,08	567,12	380,82	484,93	290,41
Jednostkowa objętość strat [dm <sup>3</sup> /M·d]	7,80	11,96	8,79	5,99	7,71	4,62

Najwyższą wartość strat wody 778,08 m<sup>3</sup>/d odnotowano w 2009 r. Na jeden kilometr przewodów wodociągowych w czasie jednej doby średnio do gruntu wypłynęło 4,12 m<sup>3</sup> wody. Średnia wielkość strat w ciągu doby na jednego mieszkańca mieściła się w przedziale 4,62-11,96 dm<sup>3</sup>/M·d. W 2013 roku straty wody wyniosły średnio 290,41 m<sup>3</sup> na całej długości sieci w ciągu doby. Pomimo przyrostu długości sieci wodociągowej podczas badanego okresu odnotowano zmniejszenie objętości traconej wody. Na rysunku 1. przedstawiono średnie straty wody przypadające na jednostkę długości sieci w ciągu doby.



Rys. 1. Średnia objętość strat wody w Stalowej Woli

Fig. 1. The average volume of water losses in the Stalowa Wola

W latach 2008-2013 wartość średniej straty wody  $x = 2,635$  m<sup>3</sup>/km/d, odchylenie standardowe zaś  $\sigma = 0,907$ . Prosta regresji ma postać  $y = -0,344x + 695,1$ . W tabeli 3. zestawiono wartości wskaźnika procentowego strat wody (PWS).

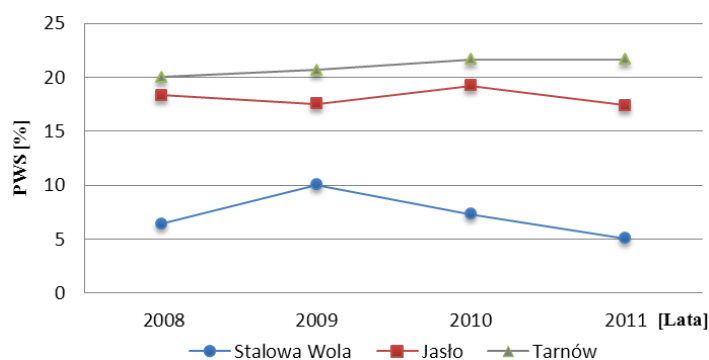
W latach 2009 i 2012 nastąpił wzrost strat wody w porównaniu z rokiem ubiegłym. W 2013 roku zanotowano najniższy procentowy wskaźnik wody straconej 4,03%. Wartość średnia wskaźnika PWS w badanych latach  $x = 6,59\%$ , odchylenie standardowe  $\sigma = 2,06\%$ . Prosta regresji jest opisana wzorem  $y = -0,699x + 1412$ .

Tabela 3. Procentowy wskaźnik strat wody (PWS) dla lat 2008-2013

Table 3. The percentage of water loss (PWS) for the years 2008-2013

Rodzaj danych	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Objętość wody wtłoczonej do sieci [m <sup>3</sup> ]	2903524	2835885	2821383	2737199	2672834	2629267
Objętość strat wody [m <sup>3</sup> ]	187000	284000	207000	139000	177000	106000
PWS [%]	6,44	10,01	7,34	5,08	6,62	4,03

Na rysunku 2. przedstawiono procentowy wskaźnik strat wody porównywany z miastami Jasło oraz Tarnów. Najniższy wskaźnik strat wody we wszystkich badanych latach odnotowano w Stalowej Woli. Jasło posiadające porównywalną długość przewodów wodociągowych ma ponaddwukrotnie wyższy wskaźnik strat wody. Najwyższe wartości odnotowano również dla Tarnowa, jednak miasto to ma ponadtrzykrotnie dłuższą i co najistotniejsze najstarszą sieć wodociągową. W Stalowej Woli od 2009 r. jest zauważalny spadek wartości analizowanego wskaźnika – jest to tendencja przeciwna do tej występującej w Tarnowie, gdzie następuje nieznaczny wzrost strat wody.



Rys. 2. Porównanie strat wody (PWS) w systemach zaopatrzenia w wodę miast Stalowa Wola, Jasło, Tarnów w latach 2008-2011

Fig. 2. Comparison of water loss (PWS) in the water supply of cities Stalowa Wola, Jasło, Tarnów in 2008-2011

W tabeli 4. zestawiono wartości wskaźnika jednostkowych strat rzeczywistych wody (RLB) wyznaczone w zależności od liczby przyłączy na 1 km sieci wodociągowej. Wskaźnik ten można wyznaczyć z następujących wzorów:

- jeśli liczba przyłączy  $I_p < 20$  przyłączy/km sieci, to wskaźnik należy odnieść do długości sieci (bez przyłączy)

$$RLB = (V_{str}) / (L_c \cdot 365) \text{ [m}^3/\text{km} \cdot \text{d]} \quad (1)$$

- jeśli liczba przyłączy  $I_p \geq 20$  przyłączy/km sieci, to wskaźnik oblicza się na jedno przyłącze

$$RLB' = (V_{str} \cdot 1000) / (I_p \cdot 365) \text{ [dm}^3/\text{d} \cdot \text{przyłącze]} \quad (2)$$

gdzie:  $V_{str}$  – objętość strat wody [ $\text{m}^3/\text{rok}$ ],

$L_c$  – długość przewodów magistralnych i rozdzielczych [km],

$I_p$  – liczba przyłączy wodociągowych.

Tabela 4. Jednostkowe straty rzeczywiste wody odnotowane w latach 2008-2013

Table 4. Unit water losses for years 2008-2013

Rodzaj danych	2008	2009	2010	2011	2012
Liczba przyłączy wodociągowych	2434	2462	2513	2559	2599
Straty wody [ $\text{m}^3$ ]	187000	284000	207000	139000	177000
Jednostkowe straty rzeczywiste [ $\text{dm}^3/\text{km} \cdot \text{d}$ ]	2,73	4,12	3,00	1,96	2,50

Najwyższe średnie straty jednostkowe wystąpiły w 2009 r., a najniższe w 2011. Wartość średnia wskaźnika  $RBL$  za 5 lat wynosi  $2,86 \text{ m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$ . Odchylenie standardowe  $\sigma = 0,80 \text{ m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$ . Na rysunku 3. przedstawiono straty nieuniknione wyznaczone jako suma trzech składowych, a są to przecieki nieuniknione w różnych rodzajach sieci wodociągowej. Przyjmuje się:

- $18 \text{ dm}^3/\text{km} \cdot \text{d} \cdot \text{m}$  dla przewodów magistralnych i rozdzielczych bez przyłączy,
- $0,8 \text{ dm}^3/\text{km} \cdot \text{d} \cdot \text{m}$  dla podłączeń wodociągowych do granicy działki,
- $25 \text{ dm}^3/\text{km} \cdot \text{d} \cdot \text{m}$  dla liczby podłączeń wodociągowych od granicy działki do wodomierza.

Straty nieuniknione można wyznaczyć ze wzoru:

$$UARL = [18(L_m + L_r) + 25L_p + 0,8I_p] \cdot 0,365p \text{ [m}^3/\text{rok]} \quad (3)$$

gdzie: 0,365 – współczynnik przeliczeniowy na rok,

$L_m$  – długość sieci magistralnej [km],

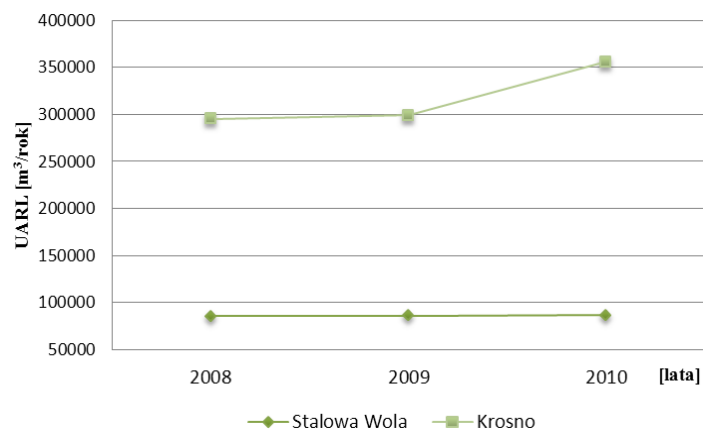
$L_r$  – długość sieci rozdzielczej [km],

$L_p$  – długość podłączeń wodociągowych [km],

$p$  – ciśnienie w danej strefie sieci wodociągowej [ $\text{mH}_2\text{O}$ ].

Wyznaczone straty nieuniknione mają zbliżoną wartość, nie odbiegając znacznie od siebie. Wartość średnia strat nieuniknionych  $UARL_{sr} = 86972,01 \text{ m}^3$ . W 2009 roku wskaźnik objętości wody niedochodowej osiągnął wartość 10,01%, co świadczy o dużej różnicy straconej wody w porównaniu z innymi latami. Najniższą wartość wskaźnika NWR odnotowano w 2008 r., tj. 3,22%.

Odchylenie standardowe dla lat 2008-2012 wynosi  $\sigma = 2,69\%$ . Prosta regresji opisano wzorem  $y = -0,255x + 518,5$ .



Rys. 3. Zestawienie wskaźnika *UARL* dla Stalowej Woli i Krosna w latach 2008-2011

Fig. 3. Comparison of *UARL* indicator for Stalowa Wola and Krosno in 2008-2011

Z porównania wartości wskaźnika strat nieuniknionych dla lat 2008-2010 w przypadku miast Stalowej Woli i Krosna (rys. 3.) wynika, że w Krośnie straty nieuniknione w 2008 r. były 3,5-krotnie wyższe, a w 2010 wyniosły 410% wartości wskaźnika odnotowanego dla Stalowej Woli. Jest to związane z ponaddwukrotnie dłuższą siecią wodociągową w Krośnie oraz gorszym stanem technicznym przewodów.

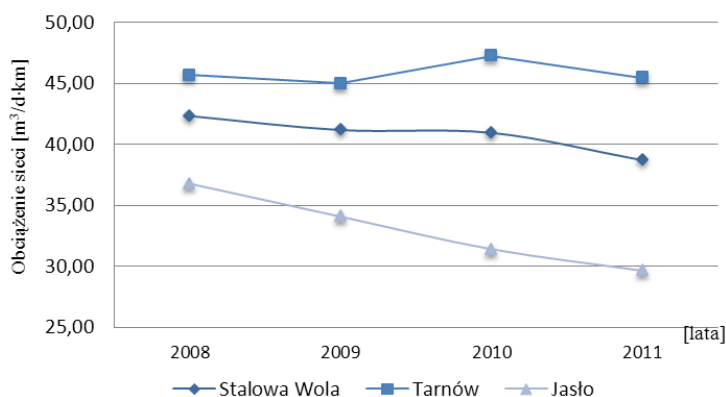
Istotnym parametrem w określaniu strat wody w systemach wodociągowych jest obciążenie hydrauliczne sieci, które przedstawia średnią objętość wody wtłaczanej do sieci przez dobę. Aby możliwe było poprawne wykonanie analizy porównawczej, a co za tym idzie otrzymanie poprawnych wyników, oprócz strat należy ująć także obciążenia hydrauliczne systemów wodociągowych. Wskaźnik ten można wyznaczyć ze wzoru:

$$Q_{os} = \frac{V_{ds}}{365L_c} \text{ [m}^3\text{/d}\cdot\text{km]} \quad (4)$$

gdzie:  $V_{ds}$  – objętość wody wtłaczanej do sieci [ $\text{m}^3$ ],  
 $L_c$  – całkowita długość sieci wodociągowej [km].

Na rysunku 4. porównano obciążenia hydrauliczne sieci dla miast: Tarnowa, Jasła, Stalowej Woli. Najniższe obciążenie hydrauliczne sieci odnotowano w Jasle ze względu na mniejszą liczbę odbiorców. Najwyższe obciążenie wystę-

puje w przewodach wodociągu miasta Tarnowa. Jak wynika z porównania, ważnym czynnikiem w analizie obciążenia jest liczba odbiorców wody. Im większa liczba odbiorców, tym większe obciążenie hydrauliczne sieci. Przy większym obciążeniu sieci wyższe jest prawdopodobieństwo wystąpienia awarii, a co za tym idzie strat wody.



Rys. 4. Zestawienie obciążenia hydraulicznego sieci dla Tarnowa, Jasła i Stalowej Woli w latach 2008-2011

Fig. 4. Comparison of hydraulic load network for Tarnów, Jasło and Stalowa Wola in 2008-2011

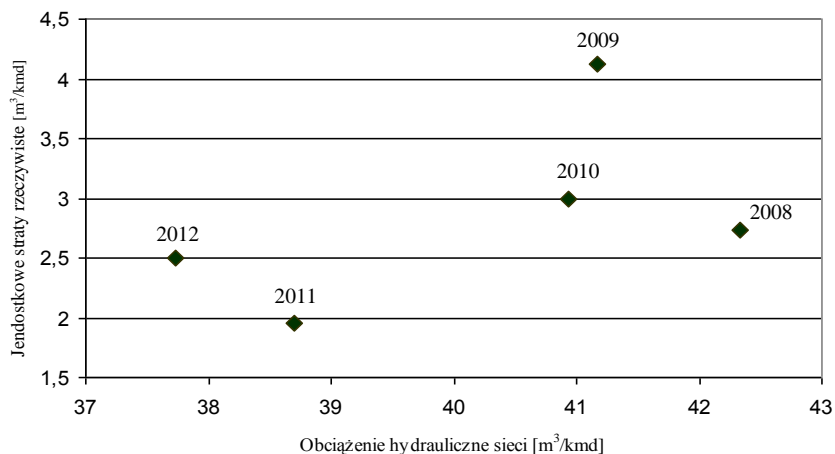
Na rysunku 5. zilustrowano straty jednostkowe oraz obciążenie hydrauliczne sieci w latach 2008-2012. Z przedstawionych danych wynika, że w przypadku miasta o małym obciążeniu hydraulicznym sieci (np. Stalowa Wola, gdzie obciążenie hydrauliczne mieści się w przedziale 37,00-43,00 m³/d·km) występują jednostkowe straty rzeczywiste o wartości 1,96-4,12 m³/km·d.

Na podstawie infrastrukturalnego indeksu wycieków według IWA zamieszczonego w tab. 5. można ocenić stan przewodów wodociągowych. Wskaźnik ten wyznacza się za pomocą ilorazu rzeczywistych strat rocznych oraz nieuniknionych strat rzeczywistych:

$$ILI = \frac{V_{str}}{U_{ARL}} [-] \quad (5)$$

gdzie:  $V_{str}$  – objętość rzeczywistych strat wody [m³/rok],

$U_{ARL}$  – objętość nieuniknionych rzeczywistych strat [m³/rok].



Rys. 5. Jednostkowe straty wody ze zmiennym obciążeniem wody w przewodach wodociągowych Stalowej Woli odnotowane w latach 2008-2011

Fig. 5. Unit water loss from the variable load of water in water pipes in Stalowa Wola in 2008-2011

Tabela 5. Infrastrukturalny indeks wycieków odnotowany w Stalowej Woli

Table 5. Infrastructure Leakage Index in Stalowa Wola

Rodzaj danych	2008	2009	2010	2011	2012
ILI wg IWA	2,18	3,29	2,39	1,58	2,00
Stan sieci wodociągowej	dobry	słaby	dobry	dobry	dobry

Stratami nieuniknionymi określa się straty, których nie można usunąć z sieci wodociągowej, ponieważ nie jest to wskazane ze względów ekonomicznych. Stosując wskaźnik *ILI*, można ocenić stan techniczny sieci wodociągowej. W zależności od wyznaczonej wartości *ILI* można wyróżnić różne rodzaje stanu technicznego sieci wodociągowej, co zostało przedstawione w opracowaniach [8, 10, 11]. Najniższą wartość wskaźnika indeksu wycieku odnotowano w 2011 r. W latach 2008 i 2010-2012 przewody wodociągowe oceniono na stan dobry, najgorszy ich stan odnotowano zaś w 2009 r.

### 3. Wnioski

Analiza strat wody w przewodach wodociągowych w Stalowej Woli pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Objętość wody wtłoczonej do sieci zmierzona w 2013 r. o wartości 2 629 tys. m<sup>3</sup> jest mniejsza o 9,44% w porównaniu z wartością odnotowaną w 2008 r. Odnotowano również spadek objętości wody sprzedanej ogółem oraz wody przeznaczonej na cele technologiczne wodociągu.

2. Wartość średnia strat wody z lat 2008÷2013 wynosi  $2,635 \text{ m}^3/\text{km}\cdot\text{d}$ , odchylenie standardowe  $\sigma = 0,907$ . Tendencję malejącą opisano równaniem  $V_{str} = -0,344x + 695,14$ .
3. W 2013 roku zanotowano najniższy procentowy wskaźnik wody straconej (PWS) o wartości 4,03%. Wartość średnia wskaźnika PWS w badanych latach wyniosła 6,59%, odchylenie standardowe zaś  $\sigma = 2,06\%$ .
4. W 2009 roku wskaźnik objętości wody niedochodowej osiągnął najwyższą wartość 10,01%. Najniższą wartość wskaźnika NWR zanotowano w 2008 r., tj. 3,22%.
5. Istotnym czynnikiem w określaniu strat wody w systemach wodociągowych jest obciążenie hydrauliczne sieci. Średnie obciążenie hydrauliczne sieci wynosi  $40,17 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$ . Najniższą wartość tego czynnika odnotowano w 2012 r., tj.  $37,73 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$ , najwyższą zaś w 2008, tj.  $42,33 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$ .
6. Porównując wielkości procentowe strat wody odnotowane w 2011 r. w analizowanych miastach, stwierdzono najniższy wskaźnik w Stalowej Woli, jest on bowiem niższy o 12,31% od Jasła i o 16,59% od Tarnowa.
7. Wyznaczony infrastrukturalny indeks wycieków (*ILI*) waha się od wartości 1,58 (2011 r.) do 3,29 (2009 r.). Stan techniczny stalowowolskich wodociągów według IWA oraz AWWA można określić jako dobry.

W celu stałego zmniejszania objętości strat wody konieczne jest prowadzenie ciągłego monitoringu sieci wodociągowej w mieście Stalowa Wola oraz działań mających za zadanie zmniejszenie traconej wody.

## Literatura

- [1] Dohnalik P.: Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych. Wydaw. Polskiej Fundacji Ochrony Zasobów Wodnych, Bydgoszcz 2000.
- [2] Kluz W.: Analiza strat wody w miejscowości Stalowa Wola. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2014 (praca niepublikowana).
- [3] Mayer P. et al.: AWWA Leak Detection & Water Accountability Committee Report. Residential End Uses of Water. AWWA Research Foundation, 1999.
- [4] Pietrucha-Urbanik K., Studziński A.: Analiza strat wody wodociągu krośnieńskiego. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 10, 2012, s. 452-454.
- [5] Rak J.: Awaryjność sieci wodociągowych w miastach polskich. Wodociągi Polskie, z. 3, nr 27, 2003, s. 11-14.
- [6] Rak J.R., Tunia A.: Analiza i ocena strat wody w wodociągu Rzeszowa. Instal, Teoria i Praktyka w Instalacjach, nr 5, 2012, s. 42-45.
- [7] Speruda S., Radecki R.: Ekonomiczny poziom wycieków. Wydaw. Translator s.c., Warszawa 2003.
- [8] World Bank Institute Performance. NRW Training Module 6. Performance Indicators, 2005.
- [9] MZK Stalowa Wola. Dane eksploatacyjne za okres 2008-2013.
- [10] Hirner W., Lambert A.: Losses from Water Supply Systems: Standard terminology and recommended performance measures. IWA, London 2000.

- [11] Koral W.: Metodyka obniżania poziomu przecieków w sieciach wodociagowych. Wodociągi – Kanalizacja, nr 6, 28, 2006, s. 26-29.

## ANALYSIS OF WATER LOSS IN STALOWA WOLA

### Summary

In the article the analysis of water losses of the Stalowa Wola water network has been presented made on the basis of data obtained from the Municipal Department Sp. z oo Stalowa Wola during the network operation of water supply system in the period 2008-2013, as well as the data from the Central Statistical Office. Estimated water losses indicators have better values than the other water supply systems. The work also includes basic information about the characteristics of the water supply system in Stalowa Wola. The results regarded other water supply systems located in Podkarpackie province. An analysis of the distributional (up to 6.2 km) and water supply connections lengths (an increase of 58.9 km) indicates that the water network of Stalowa Wola is constantly expanded. The calculation of unit rates of water loss allowed to obtain a detailed picture of the operational situation of the operational water supply. All unit volume indicators on water losses show a downward trend in the considered period. Unit hydraulic loading rate for the entire length of the water supply network-provided for the past 5 years ranges from 37.73 to 42.33 m<sup>3</sup>/km·d. Index of the average size of losses per day per capita is similar to other cities in Poland ranges from 5.99 to 11.96 dm<sup>3</sup>/M·d. The quotient of the actual losses and unavoidable annual real losses defined as infrastructure leakage index is preferred and ranges from 1.6 to 3.3.

**Keywords:** water network, water losses, the water losses indicators

*Przesłano do redakcji: 20.04.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 02.06.2014 r.*

DOI: 10.7862/rb.2014.23