

Anna MUSZ-POMORSKA<sup>1</sup>  
Małgorzata IWANEK<sup>2</sup>  
Paweł SUCHORAB<sup>3</sup>  
Agnieszka BRODACZEWSKA<sup>4</sup>

## ANALIZA STRAT WODY NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO WODOCIĄGU GRUPOWEGO

Celem niniejszego artykułu jest analiza pracy wybranego wodociągu grupowego w latach 2003-2012 w aspekcie strat wody. Badany wodociąg zasilany jest z czterech ujęć zlokalizowanych w sąsiadujących z sobą miejscowościach. Łączna długość sieci wraz z przyłączami wynosi 489 km. Przewody wykonane są głównie z polichloroku winylu oraz polietylenu dużej gęstości. Obciążenie poszczególnych stref jest nierównomierne i waha się od 5,63 m<sup>3</sup>/(d·km) w strefie B do 16,45 m<sup>3</sup>/(d·km) w strefie A. Średnia produkcja wody w latach 2003-2012 wynosiła 598794,2 m<sup>3</sup>/rok. W pracy zastosowano standardowe metody badawcze – bilansowanie według International Water Association oraz metodę wskaźnikową. Wyznaczono procentowy wskaźnik strat wody ( $S$ ), jednostkową objętość strat przypadającą na jednego mieszkańca ( $q_{STR}$ ), jednostkowy wskaźnik strat wody ( $q_{sp}$ ), wskaźnik jednostkowych strat rzeczywistych, przy co najmniej 20 przyłączach przypadających na 1 km sieci ( $RLB$ ), wskaźnik przecieków infrastruktury ( $ILI$ ) oraz wskaźnik objętości wody niedochodowej ( $NRWB$ ). Badania przeprowadzono na podstawie danych uzyskanych z przedsiębiorstwa wodociągowego. Najwyższą wartość większości wskaźników strat wody zaobserwowano w 2005 roku, później nastąpił spadek ich wartości i w 2010 roku ponowny wzrost. Niska wartość  $ILI$ , we wszystkich strefach poniżej 1,5, świadczy o bardzo dobrym stanie technicznym sieci. Najwyższe straty wody zaobserwowano w strefie zasilanej z ujęcia B. Również dla tej strefy wartość wskaźnika  $RLB$  i  $NRWB$  jest najwyższa. Wyznaczone wskaźniki strat wody są porównywalne do opublikowanych wartości, uzyskanych dla innych systemów wodociągowych i wskazują na zadowalający stan badanej sieci.

**Słowa kluczowe:** wskaźniki strat wody, bilans wody, metody IWA

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Anna Musz-Pomorska, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40 B, 20-618 Lublin, tel. (81)5384481, e-mail: A.Musz@wis.pol.lublin.pl

<sup>2</sup> Małgorzata Iwanek, Politechnika Lubelska

<sup>3</sup> Paweł Suchorab, Politechnika Lubelska

<sup>4</sup> Agnieszka Brodaczevska, absolwentka Politechniki Lubelskiej

## 1. Wprowadzenie

Problem strat wody dotyczy niemal wszystkich wodociągów na świecie. Straty te stanowią niekiedy bardzo duży procent objętości wody wtłaczanej do sieci. W Polsce problem strat wody mocno uwidocznił się po zmianach ustrojowych i wprowadzeniu gospodarki rynkowej, która wymusiła na przedsiębiorstwach wodociągowych podejmowanie działań zmierzających do ograniczenia nadmiernych strat wody. Straty wody definiowane jako różnica pomiędzy zmierzoną objętością wody wtłoczonej do sieci a zafakturowaną wielkością wody dostarczonej odbiorcom dzielą się na rzeczywiste i pozorne. Wielkość strat, niezależnie od ich rodzaju, wpływa na jakość i koszt wody dostarczonej odbiorcom [17], a także oddziałuje na kondycję finansową przedsiębiorstw wodociągowych [11,15,17,19,20].

Straty wody są jednym z podstawowych elementów oceny stanu technicznego systemu wodociągowego. Analiza tych strat powinna być zatem podstawą do podejmowania działań modernizacyjnych i naprawczych, a tym samym zmniejszenia kosztów związanych z produkcją i dystrybucją wody. International Water Association (IWA) proponuje cztery metody działań [8]: aktywną kontrolę wycieków, szybkość i jakość napraw, kontrolę i regulację ciśnienia oraz konserwację, odnowę i wymianę przewodów w celu ograniczenia wielkości strat wody. Ważnym elementem działań zmierzających do ograniczenia strat jest również ciągły monitoring pracy sieci wspomagany systemami informatycznymi [5], a także utrzymywanie ciśnienia w sieci na minimalnym wystarczającym poziomie [7].

Celem niniejszego artykułu jest analiza strat wody w wybranym wodociągu grupowym. W pracy wykorzystano standardowe metody badawcze (bilansowanie według International Water Association oraz metodę wskaźnikową). Analizie poddano straty wody w całym rozpatrywanym systemie dystrybucji w latach 2003-2012. Ponadto, ze względu na stosunkowo duże zróżnicowanie stref zasilania wodociągu grupowego, przeprowadzono analizę produkcji, zużycia i strat wody w roku 2012 dla każdej strefy oddzielnie.

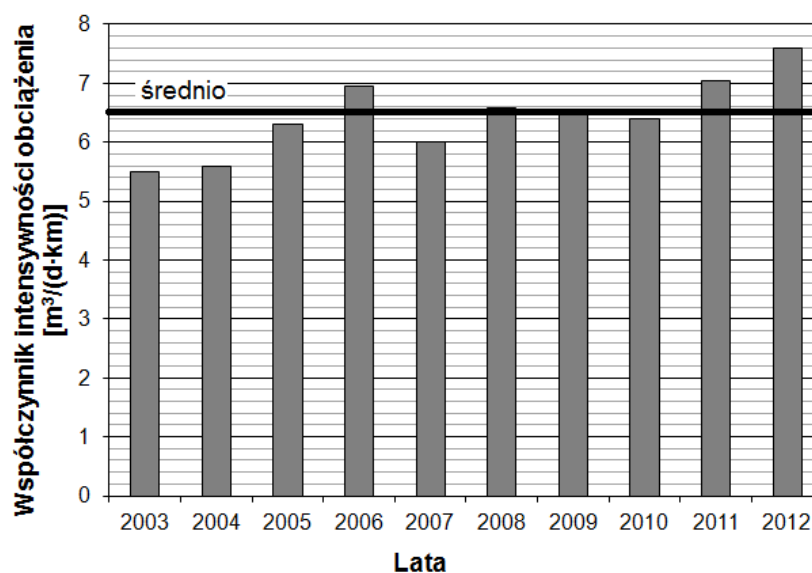
## 2. Charakterystyka systemu dystrybucji

Badania strat wody przeprowadzono dla wybranego wodociągu grupowego znajdującego się w województwie lubelskim. Badany wodociąg zasilany jest z czterech ujęć zlokalizowanych w sąsiadujących z sobą miejscowościach. Główne przewody, o łącznej długości ok. 254 km, wykonane są w większości z rur z polichlorku winylu (PVC-U) oraz polietylenu dużej gęstości (PE-HD). Łączna długość przyłączy wynosi ok. 235 km. Średnie zużycie wody przypadające na jednego mieszkańca w roku 2012 wynosiło 82 dm<sup>3</sup>/d. Charakterystykę sieci z podziałem na strefy zasilania przedstawiono w tabeli 1. Uwagę zwraca duża nierównomierność obciążenia stref wodociągu zasilanych z poszczególnych ujęć – w strefie zasilanej z ujęcia A jest ono 2,9 razy większe niż w strefie zasilanej z ujęcia B.

Tabela 1. Charakterystyka sieci wodociągowej z podziałem na strefy zasilania

Table 1. Characteristics of water supply zones

Lokalizacja ujęcia	A	B	C	D
Długość sieci [km]	16,47	102,6	48,02	87,24
Liczba przyłączy [szt.]	600	1555	737	2209
Długość przyłączy [km]	16	90,58	43,39	86
Liczba mieszkańców w roku 2012	2204	3904	2717	8423
Średnie ciśnienie w strefie [MPa]	0,35	0,38	0,37	0,35
Zużycie wody na potrzeby własne [m <sup>3</sup> /rok]	450	500	2050	8060
Wsp. intensywności obciążenia sieci w roku 2012 [m <sup>3</sup> /(d·km)]	16,45	5,63	5,68	9,17



Rys. 1. Wartość współczynnika intensywności obciążenia sieci wodociągowej w latach 2003-2012

Fig. 1. Water intensity indicator values of the water supply network in years 2003-2012

Współczynnik intensywności obciążenia poszczególnych stref zasilania sieci wodociągowej wyznaczono zgodnie z zależnością podaną przez Dohnalika i Jędrzejewskiego [7]:

$$O_s = \frac{V_{DS}}{365 \cdot L} \tag{1}$$

gdzie:  $O_s$  – współczynnik intensywności obciążenia danej strefy [m<sup>3</sup>/(d·km)],  
 $V_{DS}$  – objętość wody dostarczonej do danej strefy zasilania [m<sup>3</sup>/r],  
 $L$  – długość sieci magistralnej i rozdzielczej w obrębie strefy zasilania [km].

Współczynnik intensywności obciążenia całej analizowanej sieci wodociągowej w latach 2003-2012 (Rys. 1) obliczony został jako średnia ważona wartości wyznaczonych według wzoru (1) dla każdej ze stref zasilania (wagą jest długość sieci). Średnia arytmetyczna wartości tego parametru dla sieci w rozpatrywanym okresie wyniosła  $6,5 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{km})$ .

W latach 2003 – 2012 wyprodukowano średnio  $598794,2 \text{ m}^3/\text{rok}$  wody, przy czym najmniej –  $509000 \text{ m}^3/\text{rok}$  w roku 2003, najwięcej –  $701040 \text{ m}^3/\text{rok}$  w 2012. Biorąc pod uwagę poszczególne strefy zasilania, największy udział w produkcji wody miała strefa D ( $270401,5 \text{ m}^3/\text{rok}$ ), najmniejszy zaś C ( $78713 \text{ m}^3/\text{rok}$ ). W strefie B ( $162457 \text{ m}^3/\text{rok}$ ) produkcja wody była 2 razy większa, zaś w strefie A ( $87222 \text{ m}^3/\text{rok}$ ) 1,1 razy większa niż w strefie zasilanej z ujęcia C.

W analizowanym okresie ilość wody sprzedanej miała tendencję wzrostową. Średnia sprzedaż wody w latach 2003 – 2012 wynosiła  $468606 \text{ m}^3/\text{rok}$ . Najwyższa sprzedaż wystąpiła w roku 2012 i była o 10% większa od wartości średniej dla analizowanego okresu. Natomiast najniższa sprzedaż wystąpiła w 2003 roku i była o 20 % mniejsza od wartości średniej. Sprzedaż wody odbiorcom indywidualnym i gospodarstwom rolnym w analizowanym okresie wynosi ponad 90% w stosunku do całej objętości wody sprzedanej. Dużo mniejszy udział stanowi objętość wody sprzedanej odbiorcom związanym z działalnością gospodarczą i oświatową (średnio 5%) oraz sprzedaż hurtowa (średnio 3%).

### 3. Metodyka badań

Analizę strat wody przeprowadzono przy zastosowaniu dwóch metod badawczych: bilansowej według International Water Association (IWA) oraz metody wskaźnikowej. W analizach uwzględniono straty wody w latach 2003-2012 w całej sieci bez podziału na strefy zasilania oraz w roku 2012 dla poszczególnych stref. Uzyskane wyniki obliczeń porównano z danymi literaturowymi podawanymi dla systemów wodociągowych o zbliżonej wartości współczynnika intensywności obciążenia sieci.

#### 3.1. Składniki bilansu wody według IWA

Zgodnie z metodyką bilansu zalecaną przez IWA wodę wtłoczoną do sieci dystrybucyjnej podzielono na dwie podstawowe grupy: wodę zużytą na autoryzowaną konsumpcję oraz straty wody. Następnie autoryzowaną konsumpcję podzielono na zafakturowaną autoryzowaną konsumpcję, czyli ilość wody sprzedanej oraz niezafakturowaną autoryzowaną konsumpcję, czyli ilość wody zużytej na potrzeby własne przedsiębiorstwa. Wśród strat wody wyróżniono rzeczywiste i pozorne. Straty wody i niezafakturowana autoryzowana konsumpcja stanowią wodę nieprzynoszącą dochodu [1,9,18]. Szczegółowe informacje odnośnie zastosowanej metody można znaleźć w pracach np. [11,18,19]. Bilans wody w sieci wodociągowej według standardu IWA jest metodą szacunkową, ponieważ nie wszystkie dane potrzebne do sporządzenia bilansu można dokładnie określić.

Na podstawie danych literaturowych, w badaniach przyjęto, że błędy pomiarów i odczytów wodomierzy stanowią 3% objętości wody wtłoczonej do sieci, a nieautoryzowana konsumpcja – 2% [1,2,14]. Zgodnie z informacjami uzyskanymi w lokalnym przedsiębiorstwie wodociągowym przyjęto również, że zafakturowana niezmiernona konsumpcja oraz straty na zbiornikach magazynujących wodę wynoszą 0 m<sup>3</sup>/rok.

### 3.2. Analiza wskaźnikowa strat wody w latach 2003-2012

W zastosowanej analizie wskaźnikowej wyznaczono grupę wskaźników, których wyniki pozwoliły na ocenę prawidłowości i celowości podejmowanych działań eksploatacyjnych, a także dały możliwość porównania strat w całym systemie. W ramach analiz wyznaczono: procentowy wskaźnik strat wody ( $S$ ), jednostkową objętość strat przypadającą na jednego mieszkańca ( $q_{STR}$ ), jednostkowy wskaźnik strat wody ( $q_{sj}$ ), wskaźnik jednostkowych strat rzeczowych przy co najmniej 20 przyłączach przypadających na 1 km sieci ( $RLB$ ), wskaźnik przecieków infrastruktury ( $ILI$ ) oraz wskaźnik objętości wody niedochodowej ( $NRWB$ ). Porównanie uzyskanych wskaźników z wartościami krytycznymi oraz z opublikowanymi wartościami wskaźników dla podobnych wodociągów umożliwiło ocenę stanu eksploatacyjnego rozpatrywanego systemu.

## 4. Bilans i analiza strat wody w wodociągu w latach 2003-2012

Wybrane składniki wykonanych bilansów wody dla całej rozpatrywanej sieci wodociągowej dla lat 2003-2012 przedstawiono w tabeli 2. Wykonanie bilansów umożliwiło wyznaczenie wartości wskaźników strat wody dla okresu 2003-2012 (Tabela 3). Z przeprowadzonych bilansów strat wody metodą IWA

Tabela 2. Składniki bilansu wody według IWA dla lat 2003 - 2012

Table 2. Components of water balance according to IWA in 2003 - 2012

Rok analizy	Składniki bilansu [m <sup>3</sup> /r]				
	Woda wtłoczona do sieci	Zafakturowana aut. kons.	Niezafakturowana aut. kons.	Straty wody pozorne	Straty wody rzeczywiste
2003	509000	389969	16410	25450	77171
2004	522410	395038	16410	26121	84842
2005	587210	415562	16410	29361	125878
2006	642500	478463	16410	32125	115502
2007	557667	482850	16410	27883	30524
2008	613210	494557	16410	30661	71583
2009	608170	506592	16410	30409	54760
2010	593315	517873	16410	29666	29366
2011	653420	484404	16410	32671	119935
2012	701040	520755	16410	35052	128823

Tabela 3. Wskaźniki strat wody dla okresu 2003-2012

Table 3. Indicators of water losses in 2003-2012

Rok analizy	Wskaźnik					
	<i>S</i>	<i>q<sub>STR</sub></i>	<i>q<sub>si</sub></i>	<i>RLB</i>	<i>ILI</i>	<i>NRWB</i>
	%	dm <sup>3</sup> /(os·d)	m <sup>3</sup> /(h·km)	dm <sup>3</sup> /(szt. przył·d)	-	%
2003	20,2	16,3	0,05	41,45	0,4	23,4
2004	21,2	17,6	0,05	45,57	0,4	24,4
2005	26,4	24,7	0,07	67,61	0,7	29,2
2006	23,0	23,4	0,07	62,04	0,6	25,5
2007	10,5	9,3	0,03	16,39	0,2	13,4
2008	16,7	16,2	0,05	38,45	0,4	19,3
2009	14	13,5	0,04	9,41	0,3	16,7
2010	9,9	9,4	0,03	15,77	0,2	12,7
2011	23,4	24,2	0,07	64,42	0,6	25,9
2012	18,9	26,0	0,07	69,19	0,7	25,7
Średnia	18,9	18,1	0,05	45,03	0,4	21,6
Według Bergela [2,3,4]	21,4	30,4	0,146	154,1	1,9	24

wynika, iż wartości strat wody w analizowanym okresie mieszczą się w przedziale od 10% w roku 2010 do 26,4% w 2005 r. w stosunku do objętości wody wtłoczonej do sieci.

Analizując wskaźniki strat wody obliczone na podstawie bilansów wody (Tabela 3) można zauważyć, iż w rozpatrywanym wodociągu grupowym występują stosunkowo nieduże wartości wskaźników strat wody. Wszystkie wskaźniki poza procentowym wskaźnikiem strat wody i wskaźnikiem objętości wody niedochodowej są mniejsze od średnich obliczonych przez Bergela [2,3,4] dla 67 wodociągów obsługujących 10 000 ÷ 20 000 mieszkańców.

W latach 2005, 2006, 2011 i 2012 wartość procentowego wskaźnika strat wody przekraczała wartość literaturową równą 21,4%. Średnia wartość *S* dla okresu 2003-2012 równa 18,9% jest mniejsza o 2,5% od wartości literaturowej. Badany wodociąg charakteryzuje się dość wysokim poziomem wskaźnika objętości wody niedochodowej *NRWB* w latach 2004-2006 i 2011-2012 przekraczającym wartość literaturową równą 24% nawet o 5,2% w roku 2005.

Dla badanego wodociągu wartość wskaźnika nieuniknionych strat rzeczywistych *UARL* w 2012 r. wyniosła 527727,1 dm<sup>3</sup>/d (192620,4 m<sup>3</sup>/rok), co stanowiło aż 27% ilości wody wtłoczonej do sieci. We wcześniejszych latach wartość *UARL* była wyższa – w 2003 r. sięgała 38% ilości wody wtłoczonej do sieci. Tak duże wartości wskaźnika nieuniknionych strat rzeczywistych powodują, że przedstawiona w tabeli 3 wartość wskaźnika *ILI* jest bardzo mała - wartość średnia (0,4) jest mniejsza o 1,5 od danych literaturowych równych 1,9. Zgodnie ze standardami IWA, WBI Banding System dla krajów rozwiniętych i rozwijają-

cych się oraz kryteriów przyjętych przez Amerykańskie Stowarzyszenie Wodne (AWWA) wartość  $ILI \leq 1,5$  wskazuje na bardzo dobry stan techniczny sieci dystrybucji wody [15,16]. Należy podkreślić, że w warunkach rozpatrywanego wodociągu grupowego tak niska wartość wskaźnika  $ILI$  budzi wątpliwości.

## 5. Bilans i analiza strat wody w poszczególnych strefach zasilania w roku 2012

Aby osiągnąć dokładniejszy obraz stanu rozpatrywanego wodociągu grupowego, ze względu na zróżnicowanie stref zasilania, dokonano analizy ilości wody wyprodukowanej i zużytej oddzielnie w każdej z czterech stref zasilania w 2012 roku. Podobnie jak przy analizie całego wodociągu, przeprowadzono bilans start wody metodą zalecaną przez IWA oraz analizę wskaźnikową. Działania te mają na celu wytypowanie strefy, w której występują największe straty wody.

W tabeli 4 przedstawiono objętość wody wyprodukowanej i sprzedanej w poszczególnych strefach zasilania w roku 2012. Największy udział zarówno w produkcji jak i w sprzedaży wody miała strefa D, najmniejszy strefa C (prawie 3 krotnie mniejsza produkcja i sprzedaż wody).

Tabela 4. Objętość wody wyprodukowanej i sprzedanej w poszczególnych strefach zasilania w roku 2012

Table 4. The volume of water produced and sold in water supply zones in 2012

Objętość wody [m <sup>3</sup> /rok]	Strefa A	Strefa B	Strefa C	Strefa D
Pobranej ze środowiska	98880	210680	99500	291980
Sprzedanej	73344	146901	74975	225535

Wybrane wyniki bilansu wody z podziałem na strefy zasilania dla roku 2012 przedstawiono w tabeli 5.

Analiza wartości wskaźników strat wody przedstawionych w tabeli 6 wskazuje, że strefa zasilana z ujęcia D charakteryzuje się zarówno najwyższą produkcją jak i sprzedażą wody, a także względnie niskim poziomem rzeczywistych strat wody. W poszczególnych strefach największe różnice występują w przypadku wartości wskaźnika jednostkowych strat wody. Wartość  $RLB$  dla strefy zasilanej z ujęcia D jest niemal 2-krotnie większa od wartości obliczonej dla ujęcia B i 3-krotnie mniejsza od danych obliczonych przez Bergela [2,3,4] dla podobnych sieci ( $154,1 \text{ dm}^3/(\text{szt.} \cdot \text{przył.} \cdot \text{d})$ ). Również wartość wskaźnika  $NRWB$  dla strefy zasilanej z ujęcia D wypada najkorzystniej na tle pozostałych trzech stref i jako jedyna nie przekracza ona wartości literaturowej równej 24%. Wskaźnik  $ILI$  wyliczony dla czterech rozpatrywanych stref zasilania najmniejszą wartość przyjmuje w przypadku strefy zasilanej z ujęcia C, a największą dla

Tabela 5. Składniki bilansu wody według metody IWA w strefach zasilania w roku 2012

Table 5. Components of water balance according to IWA standard in water supply zones in 2012

Składnik bilansu [m <sup>3</sup> /r] ([%])	Strefa A	Strefa B	Strefa C	Strefa D
Woda wtłoczona do sieci	98880 (100%)	210680 (100%)	99500(100%)	291980 (100%)
Autoryzowana konsumpcja: • zafakturowana • niezafakturowana	73344 (74,2%) 1450 (1,5%)	146901 (69,7%) 1950 (0,9%)	74975 (75,4%) 3500 (3,5%)	225535 (77,2%) 9510 (3,3%)
Niezafakturowana niezmiernona konsumpcja: • woda zużyta do płukania sieci • woda zużyta na cele gospodarcze	450 (0,004%) 1000 (0,01%)	500 (0,002%) 1450 (0,007%)	2050 (0,02%) 1450 (0,01%)	8060 (0,03%) 1450 (0,005%)
Straty wody: • pozorne • rzeczywiste	4944 (0,05%) 19142 (19,4%)	10534 (5%) 51295 4,3%)	4975 (5%) 16050 (16,1%)	14599 (5%) 42336 (14,5%)

Tabela 6. Wskaźniki strat wody w strefach zasilania w roku 2012

Table 6. Indicators of water losses in water intake zones in 2012

Wskaźnik	Jednostka	Strefa A	Strefa B	Strefa C	Strefa D
$O_s$	[m <sup>3</sup> /(d·km)]	16,45	5,63	5,68	9,17
$S$	[%]	24,4	29,3	21,1	19,5
$q_{STR}$	[dm <sup>3</sup> /(os·d)]	29,9	43,4	21,2	18,5
$q_{sj}$	[m <sup>3</sup> /(h·km)]	0,17	0,07	0,05	0,07
$RLB$	[dm <sup>3</sup> /(szt·przył·d)]	87,4	90,4	59,7	52,5
$U_{ARL}$	[m <sup>3</sup> /rok]	15029,3	74278,0	34285,3	70103,1
$ILI$	[-]	1,3	0,7	0,5	0,6
$NRWB$	[%]	25,8	30,3	24,6	22,8

strefy zasilanej z ujęcia A. Obliczone dla poszczególnych stref wartości  $ILI \leq 1,5$ , według standardów IWA, WBI Banding System oraz AWWA świadczą o bardzo dobrym stanie technicznym rozpatrywanej sieci wodociągowej [2,3,4,13].

W tabeli 7 przedstawiono literaturowe wartości wskaźników strat wody dla wodociągów charakteryzujących się obciążeniem sieci zbliżonym do obciążenia poszczególnych stref analizowanego wodociągu [2,3,4,6,10].



Tabela 7. Wskaźniki strat wody według danych literaturowych na podstawie [2,3,4,6,10]

Table 7. Indicators of water losses according to literature data on the basis of [2,3,4,6,10]

Wskaźnik	Jednostka	Wielkość obciążenia sieci [ $\text{m}^3/(\text{km}\cdot\text{d})$ ]		
		ok. 6	ok. 9	ok. 16,5
<i>S</i>	[%]	12,6-29,5	18,8-33,0	21,4-36,0
<i>q<sub>STR</sub></i>	[ $\text{dm}^3/(\text{os}\cdot\text{d})$ ]	10,7-27,0	21,3-45,6	30,4-72,3
<i>q<sub>sj</sub></i>	[ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{km})$ ]	0,05-0,07	0,07-0,12	0,146-0,25
<i>RLB</i>	[ $\text{dm}^3/(\text{szt}\cdot\text{przył}\cdot\text{d})$ ]	46,1-134	107,9-188,7	235,3
<i>ILI</i>	[-]	0,8	1,7	*
<i>NRWB</i>	[%]	31,7	34,3	*

\* brak danych literaturowych

Porównując wartości wskaźników strat wody z wartościami zaobserwowanymi w sieciach o zbliżonym obciążeniu, możemy zauważyć, iż wartości uzyskane w poszczególnych strefach zasilania rozpatrywanego wodociągu w większości przypadków są zbliżone do wartości wyznaczonych w innych wodociągach. Strefa zasilana z ujęcia B charakteryzuje się stosunkowo wysokim wskaźnikiem jednostkowej objętości strat przypadającej na jednego mieszkańca ( $q_{STR}=43,4 \text{ dm}^3/(\text{os}\cdot\text{d})$ ) w porównaniu do innych systemów o zbliżonym współczynniku intensywności obciążenia sieci. W strefie C, wartość wskaźnika jednostkowych strat rzeczywistych *RLB* jest prawie 2-krotnie niższa niż w podobnych wodociągach. IWA zaleca, by stosować wskaźnik *ILI* tylko wtedy, gdy liczba przyłączy jest większa niż 5000, a ich gęstość przekracza 20 na km sieci wodociągowej oraz przy ciśnieniu w sieci co najmniej 0,25 MPa [12]. W badanej sieci spełniony jest jedynie warunek dotyczący ciśnienia.

## 6. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzony bilans oraz analiza strat wody wykazały, iż w rozpatrywanym wodociągu grupowym występują stosunkowo nieduże wartości wskaźników strat wody. Najwyższą wartość wskaźnika strat wody zaobserwowano w 2005 roku (26,4%), później nastąpił spadek do 9,9 % w 2010 roku i ponowny wzrost. Niska wartość *ILI*, we wszystkich strefach poniżej 1,5 świadczy o bardzo dobrym stanie technicznym sieci, jednakże w przypadku analizowanej sieci parametr ten może nie być miarodajny ze względu na spełnienie tylko jednego z trzech zalecanych kryteriów jego stosowania. O poprawności działań eksploatacyjnych prowadzonych w badanej sieci świadczy prawie trzykrotnie niższa od wartości literaturowych, podawanych m.in. przez Bergela [2,3,4] wartość wskaźnika strat jednostkowych  $q_{si}$ . Wartość średnia dla okresu 2003-2012 wynosiła  $0,05 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{km})$ . Straty wody w poszczególnych strefach są na porównywalnym poziomie od 19,5% w strefie D do 29,3% w strefie B. Porównując czte-

ry strefy, w strefie B zaobserwowano najwyższą wartość wskaźnika jednostkowych strat rzeczywistych ( $RLB=90,4 \text{ dm}^3/(\text{szt.} \cdot \text{przył.} \cdot \text{d})$ ) oraz wskaźnika objętości wody niedochodowej ( $NRWB=30,3\%$ ), co powinno stanowić sygnał dla eksploatatora, by na tę część wodociągu zwrócić szczególną uwagę przy podejmowaniu czynności zmierzających do ograniczenia strat wody.

## Literatura

- [1] Bauer A., Dietze G., Mueller W., Soine K.J.: Weideling, D. Poradnik eksploatatora systemów zaopatrzenia w wodę. Seidel-Przywecki, Warszawa 2005.
- [2] Bergel T.: Analiza wskaźnikowa strat wody w sieci wodociągowej w gminach wiejskich i miejsko-wiejskich w Polsce (cz.1), Gaz, Woda i Technika Sanitarna 8, 2012, s. 322-325.
- [3] Bergel T.: Analiza wskaźnikowa strat wody w sieci wodociągowej w gminach wiejskich i miejsko-wiejskich w Polsce (cz.2), Gaz, Woda i Technika Sanitarna 10, 2012, s. 413-415.
- [4] Bergel T.: Skala i powody marnotrawstwa wody w wodociągach wiejskich, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 9, 2009, s. 30-32.
- [5] Boryczko K., Tchórzewska-Cieślak B.: Analiza eksploatacji sieci wodociągowej miasta Mielca, w Polska inżynieria środowiskowa pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej (red. J.Ozonek, A.Pawłowski) t.58/1, 2009, s. 27-33.
- [6] Choma A., Iwanek M., Kowalska B., Kowalski D.: Analiza strat wody w sieci wodociągowej eksploatowanej przez Zakład Gospodarki komunalnej w Puchaczowie, Instal 10 (355), 2014, s. 61-65.
- [7] Dohnalik P., Jędrzejowski Z.: Efektywna eksploatacja wodociągów. Ograniczanie strat wody, LemTech, Kraków 2004.
- [8] Farley M., Trow S.: Losses in Water Distribution Networks. A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA Publishing, 2003.
- [9] Hotłoś, H.: Analiza strat wody w systemach wodociągowych. Ochrona Środowiska 25 (1), 2003, s. 17-24.
- [10] Iwanek M., Musz A., Kowalska B., Kowalski D., Chołody M.: Analiza strat wody w wybranym wodociągu grupowym, Instal 1(369), 2016, s. 40-43.
- [11] Kowalski D., Kowalska B., Kwietniewski M., Sygacz-Adamska J.: Analiza bilansu wody oraz awaryjności wybranego systemu dystrybucji wody w: Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, tom II (Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Red.). Poznań: PZITS Oddział Wielkopolski, 2012, s.77-92.
- [12] Kwietniewski M.: Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych, Ochrona Środowiska 4(35), 2013, 9-16.
- [13] Lambert A., Hirner W.: Losses from water supply systems. Standard terminology and recommended performance measures, IWA Blue Pages 2000.
- [14] Merlo G.: Straty wody, wykrywanie i ocena. Wodomierze w komunalnych systemach wodociągowych, IWSA Workshop, Warszawa 1992.
- [15] Piechurski F.: Działania zmierzające do ograniczenia strat wody w systemach jej dystrybucji. Napędy i sterowanie, nr 1, 2014, s 68-79.

- [16] Rak J., Sypień Ł.: Analiza strat wody w wodociągu miasta Jasło, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury t.XXX , 60(3), 2013, s., 5-18. DOI: 10.7862/rb.2013.33.
- [17] Siwoń Z., Cieżak J., Cieżak W.: Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych, Ochrona Środowiska 26 (4), 2004, s. 25-30.
- [18] Tchórzewska-Cieślak B., Szpak D.: Zarządzanie miejską infrastrukturą wodociągową, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury t. XXXI, z. 61 (1/14), 2014, s. 343-355, DOI:10.7862/Rb.2014.24.
- [19] Zimoch I., Szymura E.: Klasyfikacja stref systemu dystrybucji wody według wskaźników strat wody i awaryjności sieci, Instal nr 7-8, 2013, s. 64-68.
- [20] Żaba T., Langer A.: Monitoring strat wody elementem ograniczenia kosztów działalności przedsiębiorstwa. Napędy i Sterowanie 4, 2012, s. 100-103.

## ANALYSIS OF WATER LOSSES IN A SELECTED WATER SUPPLY SYSTEM

### Summary

The aim of the article is analysis of the selected water supply system operation in the years 2003-2012 with regard to water losses. The investigated system consists of four adjoining water intake zones (A, B, C, D). The total length of pipes including connections equals 489 km. The network is made of PVC-U and PE-HD pipes mainly. Water intensity indicator values are different in respective zones – from 5.63 m<sup>3</sup>/(d·km) in the zone B to 16.45 m<sup>3</sup>/(d·km) in the zone A. In the period of 2003-2012 the average water volume of 598794.2 m<sup>3</sup>/yr was produced.

Investigations were conducted using the standard International Water Association (IWA) balance and indicators methods. Percentile water losses index (*S*), unit water losses volume per person (*q<sub>STR</sub>*), unit index of water losses (*q<sub>sp</sub>*), real losses level for system with density of connections greater than 20 per km of mains (*RLB*), infrastructure leakage index (*ILI*) and non-revenue water basic (*NRWB*) were calculated. Investigations were conducted on the basis of data obtained from the water corporation.

The highest value of the most analyzed indicators was observed in 2005. After this year the values of the indicators were lower and increased again in 2010. *ILI* < 1.5 for each zone indicates very good technical condition of the network. The greatest losses were observed in the B zone. All the obtained indicators appeared to be comparable with literature data for similar water systems.

**Keywords:** water losses indicators, water balance, IWA method

*Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.*

*Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.*

DOI: 10.7862/rb.2016.120

