

Janusz RAK¹
Anna MISZTAŁ²

ANALIZA STRAT WODY W WODOCIĄGU MIASTA JAROSŁAW

Jednym z podstawowych elementów przy ocenie stanu technicznego systemu wodociągowego są straty wody. W związku z tym analiza strat jest jednym z głównych czynników, które należy brać pod uwagę przy planowaniu działań modernizacyjnych i naprawczych, dzięki czemu można osiągnąć zmniejszenie kosztów wiążących się z produkcją i dystrybucją wody. W pracy przedstawiono analizę strat wody w latach 2011 – 2015 dla miasta Jarosław wykonaną dzięki danym uzyskanym z Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji. Wyliczono następujące wskaźniki według International Water Association (IWA): procentowy (WS), jednostkowy start rzeczywistych (RLB), objętości wody niedochodowej (NRWB), start nieuniknionych (UARL), infrastrukturalny indeks wycieków (ILI). Dodatkowo obliczono jednostkowe wskaźniki, które pomogą scharakteryzować analizę eksploatacyjną strat wody. Są to wskaźniki takie jak: ilości wody wtłoczonej do sieci, wody sprzedanej ogółem, sprzedanej gospodarstwom domowym, ilości strat wody, wody zużytej na potrzeby własne, wody niedochodowej oraz jednostkowy wskaźnik obciążenia hydraulicznego sieci i strat wody w odniesieniu do całkowitej długości sieci. Ponadto dokonano analizy sieci wodociągowej pod kątem intensywności uszkodzeń, ponieważ awarie przewodów wodociągowych, armatury i przyłączy są jedną z istotnych przyczyn strat wody. Przeanalizowane wyniki w porównaniu do innych miast w Polsce pozwoliły na stwierdzenie, że sieć wodociągowa w Jarosławiu jest w dość dobrym stanie.

Słowa kluczowe: system zaopatrzenia w wodę, straty wody, awarie wodociągowe

1. Wprowadzenie

Miasto Jarosław zlokalizowane jest we wschodniej części województwa podkarpackiego. Obszar ten to część Kotliny Sandomierskiej oraz Podgórze Rzeszowskie i Płaskowyż Tarnogrodzki. Przecina go rzeka San, która płynie z południowego wschodu na północny zachód, a wzdłuż jej koryta ukształtował się mezoregion zwany Doliną Dolnego Sanu. Miasto jest sie-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Janusz Rak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651449; rakjan@prz.edu.pl

² Anna Misztal, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów

dzibą powiatu jarosławskiego. Graniczy ono z takimi gminami jak: Jarosław, Pawłosiów oraz Wiązownica. Zajmuje powierzchnię 34,6 km², a według danych Głównego Urzędu Statystycznego liczba mieszkańców w 2016 roku wynosiła 38 295 osób, co daje gęstość zaludnienia równą 1107 osób na km². Jest to miasto przemysłowo-rolnicze [1].

W 1966 roku zdecydowano się na ujmowanie wody powierzchniowej z rzeki San za pomocą trójkomorowego ujęcie brzegowo-komorowego osiągając wydajność na poziomie 27 000 m³/d. Ujęcie to po dziś dzień całkowicie pokrywa zapotrzebowanie na wodę w mieście, a co więcej pozwala na zaopatrywanie okolicznych miejscowości. Sieć wodociągowa doprowadzająca wodę mieszkańcom Jarosławia ma układ pierścieniowo-promienisty i zalicza się do systemu centralnego. Przebiega ona wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych, czyli dróg. Lekko pofałdowane ukształtowanie terenu, pozwoliło na zastosowanie jednostrefowego systemu zasilania. Łączna długość wodociągu wraz z przyłączami w 2015 roku to 231 km [2].

2. Analiza strat wody

2.1. Wskaźniki strat wody wg International Water Association

Analizę strat wody dla Jarosławia wykonano dzięki danym z Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji oraz na podstawie artykułu [3] wyliczając następujące wskaźniki wg International Water Association (IWA):

- 1) Procentowy wskaźnik strat wody (WS), który określa udział strat w stosunku do ilości wody wtłoczonej.

$$WS = \frac{V_{str}}{V_{wtł}} \cdot 100\%, [\%] \quad (1)$$

gdzie:

WS – procentowy wskaźnik strat wody, [%],

V_{str} – straty wody, [m³/rok],

$V_{wtł}$ – objętość wody wtłoczonej do sieci, [m³/rok].

W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń procentowego wskaźnika strat wody wraz z niezbędnymi danymi.

- 2) Wskaźnik jednostkowy strat rzeczywistych (RLB), który opisuje rzeczywistą ilość strat wody w stosunku do liczby przyłączy wodociągowych. Wskaźnik ten stosuje się w dwóch wariantach:
 - pierwsze zastosowanie dotyczy ilości podłączeń wodociągowych mniejszych od 20 na jeden kilometr sieci (M+R),

Tabela 1. Procentowy wskaźnik strat wody (WS)

Table 1. Percentage loss of water (WS)

Rok	Straty wody, V_{str} [m ³ /rok]	Objętość wody wtłoczonej do sieci, V_{wt} [m ³ /rok]	WS [%]
2011	500670,00	2593470,00	19,31
2012	512700,00	2597600,00	19,74
2013	603390,00	2459300,00	24,54
2014	686870,00	2438600,00	28,17
2015	650380,00	2380200,00	27,32

$$RLB_1 = \frac{V_{str}}{(M + R) \cdot 365} \cdot \left[\frac{m^3}{km \cdot d} \right] \quad (2)$$

gdzie:

M – długość sieci magistralnej, [km],

R – długość sieci rozdzielczej, [km].

W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń jednostkowego wskaźnika strat rzeczywistych RLB_1 wraz z niezbędnymi danymi.

Tabela 2. Wskaźnik jednostkowy strat rzeczywistych RLB_1 Table 2. Real leakage balans RLB_1

Rok	Straty wody, V_{str} [m ³ /rok]	Długość sieci ma- gistralnej, M [km]	Długość sieci roz- dzielczej, R [km]	RLB_1 [m ³ /km · d]
2011	500670,00	9,0	109,1	11,61
2012	512700,00	9,0	109,7	11,83
2013	603390,00	9,0	109,9	13,90
2014	686870,00	9,0	110,3	15,77
2015	650380,00	9,0	110,9	14,86

- drugie zastosowanie dotyczy ilości podłączeń co najmniej równych 20 na jednym kilometrze sieci wodociągowej (M+R).

$$RLB_2 = \frac{V_{str} \cdot 1000}{L_{pw} \cdot 365} \cdot \left[\frac{dm^3}{d \cdot \text{podłączenie wod.}} \right] \quad (3)$$

gdzie:

L_{pw} – liczba podłączeń wodociągowych, [-].

W tabeli 3 przedstawiono wyniki obliczeń jednostkowego wskaźnika strat rzeczywistych RLB_2 wraz z niezbędnymi danymi.

Tabela 3. Wskaźnik jednostkowy strat rzeczywistych RLB_2 Table 3. Real leakage balans RLB_2

Rok	Straty wody, V_{str} [m ³ /rok]	Liczba podłączeń wodociągowych, L_{pw} [-]	RLB_2 [dm ³ /d · podłączenie wod.]
2011	500670,00	5101	268,91
2012	512700,00	5160	272,22
2013	603390,00	5208	317,42
2014	686870,00	5256	358,04
2015	650380,00	5309	335,63

3) Wskaźnik objętości wody niedochodowej (NRWB) mówi o ilości wody niesprzedanej, czyli różnicy pomiędzy wyprodukowaną wodą a sprzedaną.

$$NRWB = \frac{V_{wtł} - V_{sp}}{V_{wtł}} \cdot 100\%, [\%] \quad (4)$$

gdzie:

V_{sp} – woda sprzedana, [m³/rok].

W tabeli 4 zestawiono dane potrzebne do obliczeń oraz wyniki wskaźnika NRW dla Jarosławia.

Tabela 4. Wskaźnik objętości wody niedochodowej

Table 4. Non-revenue water basic

Rok	Objętość wody wtłoczonej do sieci, $V_{wtł}$ [m ³ /rok]	Woda sprzedana, V_{sp} [m ³ /rok]	NRWB [%]
2011	2593470,00	2092800,00	19,31
2012	2597600,00	2084900,00	19,74
2013	2459300,00	1946000,00	20,87
2014	2438600,00	1842300,00	24,45
2015	2380200,00	1856600,00	22,00

4) Wskaźnik strat nieuniknionych (UARL) pozwala na wyznaczenie nieuniknionych strat wody w sieci wodociągowej, czyli np. wycieki poniżej 0,5 m³/h, które są bardzo trudne zarówno do zlokalizowania jak i wykrycia. Na podstawie poniższych składników można określić roczną objętość wody wodociągowej w postaci strat nieuniknionych:

- przyjmuję się wycieki nieuniknione równe 18 dm³/km·d·1m H₂O ciśnienia na rurociągach rozdzielczych i magistralnych,

- $25 \text{ dm}^3/1\text{m}$ połączeń $\cdot d \cdot 1\text{m}$ H_2O ciśnienia nieuniknionych wycieków wody na przewodach połączeń wodociągowych,
- wycieki nieuniknione wiążące się z ilością połączeń zakłada się w wielkości $0,8 \text{ dm}^3/1$ połączenie $\cdot d \cdot 1\text{m}$ H_2O ciśnienia.

$$U\text{ARL} = [18 \cdot (M + R) + 25 \cdot PW + 0,8 \cdot L_{pw}] \cdot 0,365 \cdot p, [m^3/\text{rok}] \quad (5)$$

gdzie:

PW – długość połączeń wodociągowych, [km],

L_{pw} – liczba połączeń wodociągowych, [-],

p – średnie ciśnienie w rozpatrywanej strefie pomiarowej, [mH_2O], $p = 45 [\text{mH}_2\text{O}]$

W tabeli 5 zestawiono dane potrzebne do obliczeń oraz wyniki obliczeń wskaźnika strat nieuniknionych dla miasta Jarosławia w latach 2011 -2015.

Tabela 5. Wskaźnik strat nieuniknionych

Table 5. Unavoidable real leakage

Rok	Długość sieci magistralnej, M [km]	Długość sieci rozdzielczej, R [km]	Długość połączeń wodociągowych, PW [km]	Liczba połączeń, L_{pw} [-]	UARL [m^3/rok]
2011	9,0	109,1	95,0	5101	140952,78
2012	9,0	109,7	96,0	5160	142316,06
2013	9,0	109,9	98,4	5208	143991,41
2014	9,0	110,3	100,0	5256	145397,39
2015	9,0	110,9	111,1	5309	150829,13

5) Infrastrukturalny indeks wycieków (ILI) – jest wielkością bezwymiarową określającą stosunek objętości rzeczywistych strat wody wodociągowej do strat nieuniknionych.

$$ILI = \frac{V_{str}}{U\text{ARL}}, [-] \quad (6)$$

W tabeli 6 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika ILI dla miasta Jarosław wraz z potrzebnymi danymi.

Tabela 6. Infrastrukturalny indeks wycieków

Table 6. Infrastructure leakage index

Rok	Straty wody, V_{str} [m ³ /rok]	UARL [m ³ /rok]	ILI [-]
2011	500670,00	140952,78	3,6
2012	512700,00	142316,055	3,6
2013	603390,00	143991,405	4,2
2014	686870,00	145397,385	4,7
2015	650380,00	150829,1325	4,3

2.2. Analiza strat wody wodociągowej w Jarosławiu

International Water Association oferuje cztery metody postępowania: aktywną kontrolę wycieków, regulację i kontrolę ciśnienia, jakość i szybkość napraw, odnowę, konserwację oraz wymianę przewodów [4].

Straty wody są przede wszystkim wynikiem złego stanu technicznego przewodów wodociągowych oraz armatury. W dużej mierze chodzi tutaj o typowe nieszczelności na połączeniach powodujące wycieki o różnym natężeniu. Jednak należy także wziąć pod uwagę oprócz rzeczywistych strat wody tzw. straty pozorne. Związane są one np. z błędami urządzeń pomiarowych, błędnym oszacowaniem ilości wody zużytej do płukania sieci oraz stosowanie niemiarodajnego ryczałtowego rozliczania za wodę [5].

Poniższa tabela 7 zawiera zakresy wartości współczynnika Infrastructure Leakage Index oraz przypisany im opis mówiący o stanie sieci wodociągowej.

Tabela 7. Kategorie wartości współczynnika ILI

Table 7. Coefficient values of ILI

Zakres ILI	Stan
$ILI \leq 1,5$	Bardzo dobry
$1,5 < ILI \leq 2,0$	Dobry
$2,0 < ILI \leq 2,5$	Średni
$2,5 < ILI \leq 3,0$	Słaby
$3,0 < ILI \leq 3,5$	Bardzo słaby
$ILI > 3,5$	Niedopuszczalny

Porównując zakresy współczynnika ILI zawarte w tabeli 7 z wartościami współczynnika ILI wyliczonego dla miasta Jarosław (tabela 6) można stwierdzić, że stan techniczny sieci wodociągowej jest niedopuszczalny. Współczyn-

nik ten ma tendencję wyraźnie rosnać i we wszystkich analizowanych latach przekracza on wartość 3,5. Najwięcej wyniósł on w roku 2014, czyli 4,7. Jednak zakres wartości współczynnika ILI zaproponowany przez IWA dotyczy krajów wysokorozwiniętych. Natomiast wg WBI Banding System wartości od 5,8 do 4,3 są oceniane jako stan słaby, a dla rozwijających się krajów jako stan dobry. Tymczasem Amerykańskie Stowarzyszenie Wodne (AWWA) proponuje przyjęcie wartości niższych niż 5,0 jako dobry stan sieci oraz wartości większych od 5,0 jako słaby stan sieci. Wartości infrastrukturalnego indeksu wycieków w miastach Polski wahają się między 3,16 a 16,62 [3]. Z powyższych podziałów można wywnioskować iż wodociągi w mieście Jarosław są na dość zadowalającej pozycji. Na rysunku 1 przedstawiono wykres zmian wskaźnika ILI, do którego program wygenerował prostą wraz z równaniem oraz współczynnik korelacji równy $R^2 = 0,7066$. Jak widać wzrost wskaźnika w latach 2011 – 2014 o 25% świadczy o złym stanie technicznym sieci, nieefektywnym zarządzaniu, nieodpowiednim planowaniu strategii dotyczących odnowy, konserwacji oraz wymiany przewodów. Według danych Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Jarosławiu w latach 2011 – 2015 zostało wymienione w sumie tylko 5 km sieci. Przy czym w roku 2012 i 2013 nie zanotowano żadnej wymiany przewodów wodociągowych na nowsze lub zmiany materiału w miejscach gdzie nadal znajduje się azbestocement.

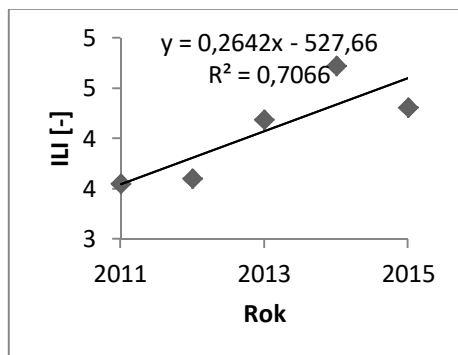
Na rysunkach 1, 2, 3 oraz 4 przedstawiono wykresy zależności poszczególnych wskaźników opisujących starty w wody w sieci wodociągowej.

Tabela numer 8 zawiera wyniki obliczonych wskaźników strat wody w mieście Jarosław w latach 2011 – 2015.

Tabela 8. Wskaźniki strat wody

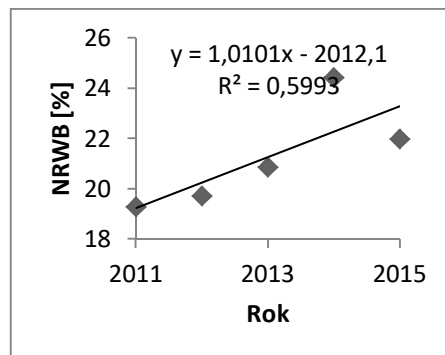
Table 8. Water loss indicators

Rok	WS [%]	RLB ₁ [m ³ /km · d]	RLB ₂ [dm ³ /d · podłączenie wod.]	NRWB [%]	UARL [m ³ /rok]	ILI [-]
2011	19,31	11,61	268,91	19,31	140952,78	3,6
2012	19,74	11,83	272,22	19,74	142316,06	3,6
2013	24,54	13,90	317,42	20,87	143991,41	4,2
2014	28,17	15,77	358,04	24,45	145397,39	4,7
2015	27,32	14,86	335,63	22,00	150829,13	4,3



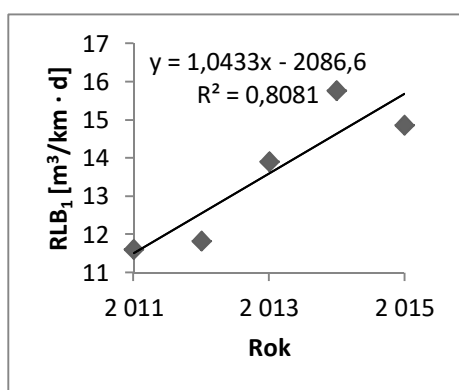
Rys. 1. Infrastrukturalny wskaźnik wycieków w mieście Jarosław

Fig. 1. Infrastructure leakage index in the city of Jarosław



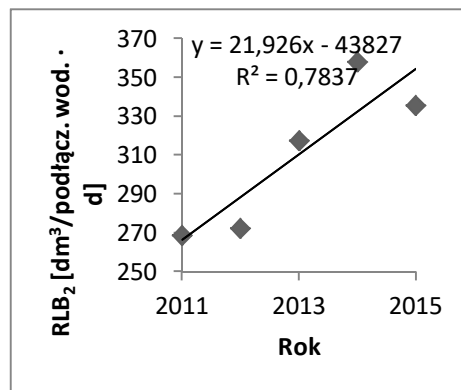
Rys. 2. Wskaźnik objętości wody niedochodowej w mieście Jarosław

Fig. 2. Non-revenue water basic in the city of Jarosław



Rys. 3. Jednostkowe straty rzeczywiste RLB₁ w mieście Jarosław

Fig. 3. Real leakage balans RLB₁ in the city of Jarosław



Rys. 4. Jednostkowe straty rzeczywiste RLB₂ w mieście Jarosław

Fig. 4. Real leakage balans RLB₂ in the city of Jarosław

Ważnym wskaźnikiem, który pozwala określić efektywność zarządzania systemem wodociągowym na danym obszarze są roczne straty wody. Wartość średnia procentowego wskaźnika start wody dla Jarosławia, na podstawie tabeli nr 8, wynosi 23,81%. Tendencję rosnącą wykazuje wskaźnik objętości wody niedochodowej, choć w okresie podjętym analizą jego wartość nie jest stabilna, co można zauważyć na rysunku 2. Również straty rzeczywiste wyrażone zarówno w $\text{m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$ jak i $\text{dm}^3/\text{d} \cdot \text{podłączenie wod.}$ z roku na rok konsekwentnie zwiększają swoją wartość, co wyraźnie widać na rysunku 3, 4. Na wymienionych rysunkach przedstawiono wykres zmian danych wskaźników, do którego program wygenerował prostą wraz z równaniem oraz współczynnik korelacji.

2.3. Jednostkowe wskaźniki strat wody w wodociągu

Aby dobrze scharakteryzować analizę eksploatacyjną strat wody wodociągowej w Jarosławiu posłużono się następującymi jednostkowymi wskaźnikami [3]:

1) jednostkowa ilość wody wtłoczonej do sieci:

$$q_{wtł} = \frac{V_{wtł} \cdot 1000}{LM \cdot 365}, \left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d} \right] \quad (7)$$

2) jednostkowa ilość wody sprzedanej ogółem:

$$q_{sp} = \frac{V_{sp} \cdot 1000}{LM \cdot 365}, \left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d} \right] \quad (8)$$

3) jednostkowa ilość wody sprzedanej gospodarstwom domowym:

$$q_{spgd} = \frac{V_{spgd} \cdot 1000}{LM \cdot 365}, \left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d} \right] \quad (9)$$

4) jednostkowa ilość strat wody:

$$q_{str} = \frac{V_{str} \cdot 1000}{LM \cdot 365}, \left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d} \right] \quad (10)$$

5) jednostkowa ilość wody zużytej na potrzeby własne:

$$q_{wt} = \frac{V_{wt} \cdot 1000}{LM \cdot 365}, \left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d} \right] \quad (11)$$

6) jednostkowa ilość wody niedochodowej:

$$q_{nd} = \frac{(V_{wtł} - V_{sp}) \cdot 1000}{LM \cdot 365}, \left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d} \right] \quad (12)$$

Tabela numer 9 przedstawia zestawienie obliczeń jednostkowych wskaźników ilości wody w Jarosławiu w latach 2011 – 2015

Tabela 9. Jednostkowe wskaźniki ilości wody

Table 9. Individual indicators quantity of water

Rok	LM	V_{spgd} [m ³ /rok]	V_{wt} [m ³ /rok]	$\frac{q_{wtł}}{\left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d}\right]}$	$\frac{q_{sp}}{\left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d}\right]}$	$\frac{q_{spgd}}{\left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d}\right]}$	$\frac{q_{str}}{\left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d}\right]}$	$\frac{q_{wt}}{\left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d}\right]}$	$\frac{q_{nd}}{\left[\frac{dm^3}{Mk \cdot d}\right]}$
2011	43242	1267000	322130	164,32	132,60	80,27	31,72	20,41	31,72
2012	43002	1286400	338400	165,50	132,83	81,96	32,66	21,56	32,66
2013	44082	1239500	276810	152,85	120,95	77,04	37,50	17,20	31,90
2014	43774	1118100	275830	152,63	115,31	69,98	42,99	17,26	37,32
2015	43331	1137000	251320	150,49	117,39	71,89	41,12	15,89	33,11

Patrząc na zestawienie jednostkowych wskaźników strat wody w wodociągach zawarte w tabeli 9 stwierdzono, że wskaźnik wody wtłoczonej waha się od wartości 165,50 dm³/Mk · d do 150,49 dm³/Mk · d. Natomiast jednostkowa ilość wody sprzedanej wynosi najwięcej dla roku 2012 i jest to 132,83 dm³/Mk · d, a najmniej dla roku 2014 – 115,31 dm³/Mk · d. Jednostkowa objętość sprzedanej wody gospodarstwom domowym mieści się w granicach od 71,89 dm³/Mk · d do 81,96 dm³/Mk · d. Jeżeli odniesiemy te wartości do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 roku w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody [14] to zauważymy, że odpowiadają one mieszkaniom wyposażonym w wodociąg, zlew kuchenny i wc, ale bez łazienki i ciepłej wody, co w dzisiejszych czasach nie ma odzwierciedlenia w rzeczywistości miasta Jarosław. Z powyższej tabeli 9 wynika także, że jednostkowy wskaźnik strat wody wynosi od 31,72 dm³/Mk · d do 42,99 dm³/Mk · d, jednostkowa objętość wody potrzebnej na cele własne waha się między 15,89 dm³/Mk · d, a 21,56 dm³/Mk · d oraz ilość wody niedochodowej mieści się w granicach 31,72 – 37,32 dm³/Mk · d.

7) jednostkowy wskaźnik obciążenia hydraulicznego sieci:

$$q_o = \frac{V_{wtł}}{L_{M+R} \cdot 365} \left[\frac{m^3}{km \cdot d} \right] \quad (13)$$

8) wskaźnik jednostkowy strat wody w odniesieniu do całkowitej długości sieci:

$$q_{strL} = \frac{V_{str}}{L \cdot 365} \left[\frac{m^3}{km \cdot d} \right] \quad (14)$$

$$V'_{str} = V_{str} - U_{ARL} \left[\frac{m^3}{rok} \right] \quad (15)$$

$$q'_{str.L} = \frac{V'_{str}}{L \cdot 365} \left[\frac{m^3}{km \cdot d} \right] \quad (16)$$

Tabela numer 10 przedstawia zestawienie obliczonych wskaźników obniżenia hydraulicznych sieci wodociągowej w Jarosławiu w latach 2011 – 2015.

Tabela 10. Jednostkowe wskaźniki obciążeń hydraulicznych sieci wodociągowej

Table 10. Individual indicators hydraulic loads of water supply

Rok	L [km]	q_o [m ³ /km·d]	$q_{str.L}$ [m ³ /km·d]	V'_{str} [m ³ /rok]	$q'_{str.L}$ [m ³ /km·d]
2011	213,10	60,16	6,44	359717,22	4,62
2012	214,70	59,96	6,54	370383,95	4,73
2013	217,30	56,67	7,61	459398,60	5,79
2014	219,30	56,00	8,58	541472,62	6,76
2015	231,00	54,39	7,71	499550,87	5,92

Analizując tabelę nr 10 widać, iż jednostkowy wskaźnik obciążenie hydraulicznego w latach 2011 – 2015 zmniejszył się z wartości 50,16 m³/km·d do wartości 54,39 m³/km·d. Tymczasem wskaźnik jednostkowy strat dotyczących całkowitej długości sieci waha się w przedziale od 6,44 m³/km·d do 8,58 m³/km·d.

3. Awaryjność sieci wodociągowej Jarosławia

Korzystając z poniższych wzorów obliczono trzy współczynniki, które pomogą scharakteryzować sieć wodociągową a ich znajomość jest bardzo przydatna i powinna być znana eksploatacjom [6]:

$$L_{p\acute{s}r} = \frac{PW}{L_{pw}} \left[\frac{m}{1 \text{ podłączenie}} \right] \quad (17)$$

gdzie:

$L_{p\acute{s}r}$ – średnia długość podłączenia wodociągowego, [m/1 podłączenie],

PW – długość podłączeń wodociągowych, [m],

L_{pw} – liczba podłączeń wodociągowych, [-].

$$l = \frac{L_{pw}}{R} \left[\frac{\text{szt.}}{km} \right] \quad (18)$$

gdzie:

l – liczba podłączeń przypadająca na 1 km sieci rozdzielczej, [szt./km],

R – długość sieci rozdzielczej, [km].

$$q = \frac{Q_{d\ sr}}{L} \left[\frac{m^3}{d \cdot km} \right] \quad (19)$$

gdzie:

q – współczynnik obciążenia sieci, $[m^3/d \cdot km]$,

$Q_{d\ sr}$ – średnie dobowe zużycie wody w roku, $[m^3/d]$,

L – całkowita długość sieci wodociągowej, $[km]$.

W tabeli 11 przedstawiono wyniki obliczeń współczynników charakteryzujących sieć wodociągową.

Tabela 11. Zestawienie współczynników opisujących sieć wodociągową

Table 11. Summary of indicators describing the water supply

Rok	Średnia długość podłączenia wodociągowego, L_{psr} $[m/1 \text{ podłączenie}]$	Liczba podłączeń przypadająca na 1 km sieci rozdzielczej, l $[szt./km]$	Współczynnik obciążenia sieci, q $[m^3/d \cdot km]$
2011	1,86	46,76	26,91
2012	1,86	47,04	26,60
2013	1,89	47,39	24,54
2014	1,90	47,65	23,02
2015	2,09	47,87	22,02

Jak widać na podstawie tabeli 11 pomimo rosnącej średniej długości podłączenia wodociągowego i liczby podłączeń, współczynnik obciążenia sieci maleje. Ma to prawdopodobnie związek z ciągle zmniejszającym się zużyciem wody. Standardy europejskie mówią, że powinniśmy dążyć do następujących wartości kryterialnych intensywności uszkodzeń rurociągów [7]:

- przewody tranzytowe i magistralne – przyjmuję się $\lambda = 0,3 \text{ uszk.}/(km \cdot rok)$,
- przewody sieci rozdzielczej – $\lambda = 0,5 \text{ uszk.}/(km \cdot rok)$,
- na podłączeniach domowych zaleca się $\lambda = 1,0 \text{ uszk.}/(km \cdot rok)$.

Intensywność uszkodzeń można wyliczyć na podstawie poniższego wzoru 20 biorąc pod uwagę długość analizowanej sieci (w odniesieniu do 1 km), liczbę awarii oraz jednostkę czasu.

$$\lambda = \frac{k}{L \cdot \Delta t} \left[\frac{1}{km \cdot rok} \right] \quad (20)$$

gdzie:

k – liczba awarii na poszczególnych sieciach wodociągowych, $[-]$,

L – długość sieci wodociągowej, $[km]$,

Δt – przedział czas, podczas którego ilość rozpatrywanych awarii miała miejsce, $[rok]$.

Tabela 12 przedstawia wyniki obliczeń intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej λ [1/(km · rok)] miasta Jarosław w latach 2011 – 2015

Tabela 12. Zestawienie intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej λ

Table 12. Summary of the water supply system failure rate λ

Oznaczenie	Rok				
	2011	2012	2013	2014	2015
Liczba awarii na sieci magistralnej λ_M	0	3	2	0	0
Intensywność uszkodzeń λ_M	0	0,33	0,22	0	0
Liczba awarii na sieci rozdzielczej λ_R	44	70	55	42	30
Intensywność uszkodzeń λ_R	0,40	0,64	0,50	0,38	0,27
Liczba awarii połączeń wodociągowych λ_{PW}	35	55	31	49	41
Intensywność uszkodzeń λ_{PW}	0,37	0,57	0,32	0,49	0,37
Całkowita liczba awarii sieci wodociągowej λ_C	79	128	88	91	71
Intensywność uszkodzeń λ_C	0,37	0,60	0,40	0,41	0,31

Analizując wartości intensywności uszkodzeń sieci w Jarosławiu przedstawione w tabeli 12 widać, że jej średnia wartość (λ_C) w analizowanym okresie pięciu lat wynosi 0,42 uszk./(km·rok). Biorąc pod uwagę sieć magistralną to awarie zostały odnotowane jedynie w 2012 oraz 2013 roku, a intensywność uszkodzeń w tych latach wynosi odpowiednio 0,33 uszk./(km·rok) i 0,22 uszk./(km·rok), co nie przewyższa wartości uznawanej za kryterialną. Przy rozpatrywaniu sieci rozdzielczej stwierdzono, że wartość kryterialna została przekroczona jedynie w 2012 roku, gdzie intensywność uszkodzeń wyniosła 0,64 uszk./(km·rok). Natomiast najniższy wskaźnik zanotowano dla tej sieci zanotowano w 2015 roku: 0,27 uszk./(km·rok). Jeżeli chodzi o połączenia wodociągowe to najniższa intensywność uszkodzeń była w roku 2013, kiedy wartość ta wyniosła 0,32 uszk./(km·rok), a największa miała miejsce w 2012 roku – 0,57 uszk./(km·rok) i jest ona niższa od wartości kryterialnej standardów europejskich.

4. Podsumowanie

Straty wody w latach 2011 – 2015 mieszczą się w przedziale: od 500 670,00 m³ do 686 870,00 m³. Wartość średnia procentowego wskaźnika strat wody jest równa 23,81%. Stan techniczny sieci wodociągowej w roku 2015 wg IWA określany jest jako niedopuszczalny. Infrastrukturalny indeks wycieków dla Jarosławia zawiera się w przedziale od 3,6 do 4,7 jednak biorąc pod uwagę skalę WBI Banding System oraz Amerykańskiego Stowarzyszenia Wodnego, a także porównując go z innymi miastami Polski znajduje się on na dość dobrym poziomie. Analizując wartości intensywności uszkodzeń to jej średnia wynosi 0,42 uszk./(km · rok). Na tej podstawie można stwierdzić, że awarie na sieci wodociągowej nie mają dużego wpływu na straty wody.

Literatura

- [1] „Lokalny Plan Rewitalizacji Obszaru Miejskiego Jarosławia na lata 2009 - 20015”, Jarosław 2009.
- [2] Materiały z Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Jarosławiu.
- [3] Rak J., Sypień Ł., „Analiza strat wody w wodociągu miasta Jasła”, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXX, z. 60 (3/13), lipiec – wrzesień 2013, str. 5-18, DOI:10.7862/rb.2013.33.
- [4] Musz-Pomorska A., Iwanek M., Suchorab P., Brodaczevska A., „Analiza strat wody na przykładzie wybranego wodociągu grupowego”, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXIII, z. 63 (2/I/16), kwiecień-czerwiec 2016, str. 179-189, DOI:10.7862/rb.2016.120.
- [5] Kwietniewski M., „Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych”, Ochrona Środowiska, tom 35, nr 4, 2013, str. 9-16.
- [6] Rak J., „Problematyka ryzyka w wodociągach”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014.
- [7] Tchórzewska-Cieślak B., Rak J., „Awaryjność sieci wodociągowych w głównych miastach Doliny Sanu”, III Konferencja Naukowo-Techniczna "Błękitny San", Dubiecko, 21-22 kwietnia 2006, str. 113-123.

ANALYSIS OF THE WATER LOSSES IN THE JAROSŁAW CITY

Summary

One of the basic elements in assessing the technical condition of the water supply system is the loss of water. Therefore, loss analysis is one of the main factors to be considered in planning modernization and corrective actions, thus reducing the costs associated with the production and distribution of water. The work presents an analysis of water losses in the years 2011 - 2015 for the city of Jarosław made thanks to the data obtained from the Water Supply and Sewerage Company. The following International Water Association (IWA) indicators have been calculated: percentage (WS), real leakage balans (RLB), non-revenue water basic (NRWB), unavoidable real leakage (UURL), infrastructure leakage index (ILI). In addition, individual indicators were calculated to help characterize the exploitation analysis of water losses. These are indicators such as the amount of water injected into the net, the total water sold to households, the amount of water loss, the water used for own consumption, the non-profit water and the unit load index of the hydraulic network and the water loss with respect to the total network length. The water supply network was analyzed for damage intensity because of water supply failure, fittings And the connections are one of the major causes of water loss. The analyzed results Compared to other cities in Poland, it was possible to conclude that the water-line network in Jarosław was in good shape.

Keywords: water supply system, losses in water, water pipe failure

Przesłano do redakcji: 17.10.2017 r.

Przyjęto do druku: 15.12.2017 r.