

## АНАЛІЗ ВИТРАТ ВОДИ У ВОДОГОНАХ МІСТА СЯНОК

© Рак Я., Калда Г., Вроновська В., 2013

Подано аналіз витрат води у водогінній мережі у місті Сянок у 2007–2011 рр. на підставі даних, отриманих від Сяноцького підприємства комунального господарства. Розраховано показники витрат води, рекомендованих Міжнародною водною асоціацією IWA. Розраховано показники витрат порівняно з результатами, отриманими іншими польськими водогінними системами.

**Ключові слова:** аналіз, використання води, втрати води, система забезпечення водою, система збору та водопостачання.

The thesis presents the analysis of water losses in the water supply system of Sanok in the years 2007 – 2011, on the basis of the data received from the Municipal Enterprise in Sanok. Calculated ratios of unit rates of water losses and indicators recommended by the International Water Association – IWA. The calculated rates for losses are comparable to the results obtained in other Polish water supply systems.

**Key words:** analysis, water consumption, water loss, water supply system, system of collective water supply.

### Вступ

Водогінні системи – це технічні системи, метою яких є доставка води до користувачів відповідної якості та кількості під відповідним тиском та у будь-яку пору доби. Втрати води є одним із елементів, що використовуються для оцінки технічного стану водогінної мережі. У Сяноку вода до водогінної мережі надходить з двох джерел поверхневих вод, що знаходяться у Трепчі та у Заслав'ю. Виробництво SUW у Заслав'ю має  $Q_{dsr} = 3000 \text{ м}^3/\text{добу}$ , а SUW у Трепчі –  $Q_{dsr} = 9000 \text{ м}^3/\text{добу}$  [1, 2]. Обидва джерела локалізовані на річці Сян. Розподілом води займається Сяноцьке підприємство комунального господарства.

**Мета роботи** – оцінити втрати води у Сяноцькій водогінній мережі у 2007–2011 рр.

### Методика досліджень

Втрати води незмінно пов'язані із роботою водогінної мережі [7]. Існують два способи їх розрахунку [9]. Перший спосіб має назву «згори донизу» і полягає в розрахунках втрат води, що використовують дані із щорічного балансу. Другий спосіб називається «знизу догори», в якому втрати води розраховуються на підставі даних балансу, отриманих від мінімального припливу води у нічний час.

Міжнародна водна асоціація International Water Association (IWA) окреслює стандарт споживання річного балансу води. Основні дані щодо розрахунку втрат води такі [4]:

- вода, що потрапляє до мережі, –  $V_{wtl}$ ;
- вода, що продана споживачу, –  $V_{sp}$ ;
- власне використання води –  $V_{wi}$ ;
- втрати води –  $V_{str}$ ;
- довжина роздільної мережі –  $R$ ;
- довжина магістральної мережі –  $M$ ;
- сумарна довжина водогінної мережі –  $M+R$ ;
- кількість водогінних підключень –  $L_{pw}$ ;
- довжина водогінних підключень –  $PW$ .

### Відсотковий показник втрат води – WSW

Відсотковий показник втрат води WSW означає втрати води ( $V_{str}$ ) у відношенні до об'єму поданої до водогінної мережі води ( $V_{wtl}$ ) і визначається за формулою

$$WSW = \frac{V_{str}}{V_{wtl}} \cdot 100 [\%].$$

Втрати води у підсистемі розподілу характеризуються такими показниками [3]:

– показником дійсних втрат – **RLB** (ang. *Real Loss Basic*);

– показником об'єму води, що не доходить до споживача **NRWB** (ang. *Non-Revenue Water Basic*);

– індексом інфраструктурного витоку води – **ILI** (ang. *Infrastructure Leakage Index*).

### Баланс неминучих втрат:

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

Річний об'єм водогінної води у вигляді неминучих втрат окреслюється на підставі трьох складових [4]:

– течі неминучої на провідниках мережі магістральної та роздільної, приймається  $18 \text{ дм}^3/\text{км} \cdot \text{добу} \cdot 1 \text{ мН}_2\text{О тиску}$ ;

– течі неминучої на провідниках водогінних підключень, приймається  $25 \text{ дм}^3/1 \text{ м підключень} \cdot \text{добу} \cdot 1 \text{ мН}_2\text{О тиску}$ ;

– течі неминучої, пов'язаної із кількістю водогінних підключень, приймається  $0,8 \text{ дм}^3/1 \text{ підключень за добу} \cdot 1 \text{ мН}_2\text{О тиску}$ ;

**M** – довжина магістральної мережі (км);

**R** – довжина роздільної мережі (км);

**PW** – довжина водогінних підключень (км);

**L<sub>pw</sub>** – кількість водогінних підключень;

**p** – середній тиск в області вимірів (мН<sub>2</sub>О), що розглядається;

**0,365** – коефіцієнт, перерахований на рік і м<sup>3</sup>.

Важкі для розкриття витоки з водогінних мереж нижчі за  $0,5 \text{ м}^3/\text{год}$ . Тому водогінні підприємства часто допускають неминучі втрати, які існують в усіх водоканалах [5].

### Інфраструктурний індекс витоку ILI

Інфраструктурний індекс витоку ILI у річному відношенні – це відповідність втрат води ( $V_{str}$ ) неминучим втратам:

$$ILI = \frac{V_{str}}{UARL} [-].$$

Індекс ILI дає змогу безпосередньо оцінити технічний стан водогінної мережі.

У табл. 1 подано об'єм або категорію інфраструктурного індексу ILI за трьома стандартами.

### Одиничний показник дійсних втрат – RLB

Залежно від кількості підключень водогонів використовується показник  $RLB_1$  або  $RLB_2$ . Якщо кількість підключень водогонів, що припадає на кілометр водогінної мережі ( $M+R$ ), є меншою від 20, тоді одиничний показник дійсних втрат може бути визначений за формулою

$$RLB_1 = \frac{V_{str}}{(M + R)365} \quad [m^3 / km \cdot \text{добу}].$$

Якщо кількість підключень водогонів, що припадає на кілометр водогінної мережі, становить 20, тоді одиничний показник дійсних втрат визначається із залежності:

$$RLB_2 = \frac{V_{str} \cdot 1000}{L_{pw} \cdot 365} \quad [dm^3/добу \cdot \text{водогінне підключення}].$$

### Показник об'єму води, що не доходить до споживача, – NRW

Показник NRW є співвідношенням різниці кількості води, що входить у водогін, і проданої води до кількості води, що входить у водогін:

$$NRWB = \frac{V_{wtl} - V_{sp}}{V_{wtl}} \cdot 100 [\%].$$

## Категорії вартості ІЛІ

Об'єм або категорія за IWA [4]	Категорії ІЛІ	Об'єм ІЛІ за WBI Banding System [8]		Об'єм ІЛІ за AWWA [3]
		країни, що розвиваються	розвинені країни	
<b>ІЛІ ≤ 1,5</b> стан дуже добрий	стан дуже добрий	ІЛІ ≤ 4	ІЛІ ≤ 2	ІЛІ ≤ 3
<b>1,5 &lt; ІЛІ ≤ 2</b> стан добрий				
<b>2 &lt; ІЛІ ≤ 2,5</b> стан середній	стан добрий	4 < ІЛІ ≤ 8	2 < ІЛІ ≤ 4	3 < ІЛІ ≤ 5
<b>2,5 &lt; ІЛІ ≤ 3</b> стан слабкий	стан слабкий	8 < ІЛІ ≤ 16	4 < ІЛІ ≤ 8	5 < ІЛІ ≤ 8
<b>3 &lt; ІЛІ ≤ 3,5</b> стан дуже слабкий				
<b>ІЛІ &gt; 3,5</b> стан недопустимий	стан недопустимий	ІЛІ > 16	ІЛІ > 8	ІЛІ > 8

## Результати досліджень втрат водогінної води у Сяноку

Порівняння кількості продукції води в усій мережі у 2007–2011 рр. подано у табл. 2.

Таблиця 2

## Порівняння балансу продукції води у 2007–2011 рр.

Рік	Вода, що входить у водогін Vwtl [м <sup>3</sup> /рік]	Продана вода Vsp [м <sup>3</sup> /рік]	Вода, що продана домашньому господарству Vspgd [м <sup>3</sup> /рік]	Використання води на власні цілі Vwtl [м <sup>3</sup> /рік]	Втрати води Vstr [м <sup>3</sup> /рік]
2007	3 177 608	1 641 801	1 249 616	316 000	1 219 807
2008	3 170 069	1 639 388	1 237 928	315 000	1 215 681
2009	3 303 173	1 554 807	1 211 309	329 000	1 419 366
2010	3 166 937	1 528 228	1 202 841	315 000	1 323 709
2011	3 314 916	1 528 171	1 206 953	332 000	1 454 745

У табл. 3 наведена довжина магістральної та роздільної мереж, а також кількість водогінних підключень за окремі роки.

Таблиця 3

## Порівняння довжини водогінної мережі у Сяноку

Рік	Довжина магістральної мережі M [км]	Довжина роздільної мережі R [км]	Разом M+R [км]	Довжина водогінних підключень PW [км]	Разом L [км]	Кількість водогінних підключень Lpw [шт.]
2007	11,2	94,4	105,6	84,4	190	5575
2008	11,2	97,1	108,3	84,4	192,7	5666
2009	11,2	97,5	108,7	84,4	193,1	5794
2010	11,2	120,2	131,4	84,4	215,8	5880
2011	11,2	120,2	131,4	84,4	215,8	5964

У табл. 4 наведені результати розрахунків усіх показників втрат води у 2007–2011 рр.

## Порівняння показників втрат води у 2007–2011 рр.

Рік	WSW [%]	NRWB [%]	RLB <sub>1</sub> [м <sup>3</sup> /км·д]	RLB <sub>2</sub> [дм <sup>3</sup> /дPW]	UARL [м <sup>3</sup> /г]	ІІІ
2007	38,4	48,3	31,6	599,5	123673,7	9,9
2008	38,3	48,3	30,8	587,8	125446,1	9,7
2009	43,0	52,9	35,8	671,2	127046,3	11,2
2010	41,8	51,7	27,6	616,8	134016,3	9,9
2011	43,9	53,9	30,3	668,3	134997,4	10,8

Густина водогінних підключень у 2007–2011 рр. становила більше 20 підключень на кілометр, тому належить взяти до уваги показник RLB<sub>2</sub>, який показує кількість підключень [6].

Індекс інфраструктури витоків набув величину від 11,2 до 9,7. За даними WBI і AWWA, стан мережі є слабким, але допустимим. За даними IWA, стан технічний водогінної мережі є недопустимим, тому що з кожним роком ІІІ перевищує величину 3,5.

## Розрахунок одиничних показників втрат води

– одинична кількість мережі води, що подається:

$$q_{wtl} = \frac{V_{wtl} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{дм}^3 / \text{Мк} \cdot \text{д}];$$

– одинична кількість води, що продається:

$$q_{sp} = \frac{V_{sp} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{дм}^3 / \text{Мк} \cdot \text{д}];$$

– одинична кількість проданої води домашнім господарствам:

$$q_{spgd} = \frac{V_{spgd} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{дм}^3 / \text{Мк} \cdot \text{д}];$$

- одинична кількість втрат води:

$$q_{str} = \frac{V_{str} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{дм}^3 / \text{Мк} \cdot \text{д}];$$

– одинична кількість використаної на власні потреби води:

$$q_{wl} = \frac{V_{wl} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{дм}^3 / \text{Мк} \cdot \text{д}];$$

– одинична кількість води, яка не доходить до споживача:

$$q_{nd} = \frac{(V_{wtl} - V_{sp}) \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{дм}^3 / \text{Мк} \cdot \text{д}].$$

У табл. 5 наведено одиничні показники кількості води у 2007–2011 рр.

Розрахунок одиничного показника гідравлічного навантаження водогінної мережі M+R:

$$q_o = \frac{V_{wtl}}{L_{M+R} \cdot 365} [\text{м}^3 / \text{км} \cdot \text{д}].$$

Розрахунок одиничного показника втрат води по відношенню до усїєї довжини водогінної мережі (табл. 5):

$$q_{strL} = \frac{V_{str}}{L \cdot 365} [m^3 / km \cdot d].$$

Таблиця 5

**Одиничні показники кількості води у 2007–2011 рр.**

Одиничний показник кількості води	Рік				
	2007	2008	2009	2010	2011
$q_{wtl}$	203,8	201,3	208,6	200,9	211,0
$q_{sp}$	105,3	104,1	98,2	96,9	97,3
$q_{spgd}$	80,2	78,6	76,5	76,3	76,8
$q_{str}$	78,3	77,2	89,6	84,0	92,6
$q_{wl}$	20,3	20,0	20,8	20,0	17,7
$q_{nd}$	98,5	97,2	110,4	103,9	113,8
<b>Кількість мешканців, що використовують водогін LM</b>	42 707	43 150	43 378	43 193	43 034

В табл. 6 наведено порівняння вартості одиничного показника гідравлічного навантаження магістральної і роздільної мереж та одиничного показника втрат води на усїй довжині водогінної мережі.

Таблиця 6

**Порівняння одиничних показників гідравлічного навантаження водогінної мережі у м. Сяноку**

Рік	$q$ [ $m^3/km \cdot d$ ]	$q_{str.L}$ [ $m^3/km \cdot d$ ]	$V'_{str}$ [ $m^3/t$ ]	$q'_{str.L}$
<b>2007</b>	82,4	17,6	1096133,3	15,8
<b>2008</b>	80,2	17,3	1090234,9	15,5
<b>2009</b>	83,3	20,1	1292319,7	18,3
<b>2010</b>	66,0	16,8	1189692,7	15,1
<b>2011</b>	69,1	18,5	1319747,6	16,8

$$V'_{str} = V_{str} - UARL;$$

$$q'_{str.L} = \frac{V'_{str}}{L \cdot 365} [m^3/km \cdot d].$$

**Аналіз аварії водогінної мережі м. Сянока**

У табл. 7 наведена кількість аварій та показники інтенсивності ушкоджень магістральної та роздільної мереж, водогінних підключень, а також загальна кількість аварій та інтенсивність ушкоджень водогінної мережі [6, 7].

Таблиця 7

**Порівняння інтенсивності ушкоджень водогінної мережі у м. Сяноку**

Позначення	Рік				
	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Кількість аварій магістральної мережі</b>	20	18	18	21	13
<b>Інтенсивність ушкоджень, <math>\lambda_M</math></b>	1,79	1,61	1,61	1,88	1,16
<b>Кількість аварій роздільної мережі</b>	69	48	55	42	48
<b>Інтенсивність ушкоджень, <math>\lambda_R</math></b>	0,73	0,49	0,56	0,35	0,40
<b>Кількість аварій водогінних підключень</b>	69	85	59	72	86
<b>Інтенсивність ушкоджень водогінних з'єднань, <math>\lambda</math></b>	0,82	1,01	0,70	0,85	1,02
<b>Сумарна кількість аварій водогінної мережі</b>	158	151	132	135	147
<b>Інтенсивність ушкоджень, <math>\lambda</math></b>	0,83	0,78	0,68	0,63	0,68

Інтенсивність ушкоджень водогінної мережі розраховується стосовно 1 км її довжини та одиниці часу, яка дорівнює одному року, із формули [8]:

$$\lambda = \frac{k}{L \cdot \Delta t}.$$

#### Висновки:

1. Сяноцьке підприємство комунального господарства повинно покращити діяльність, яка має за мету забезпечити відповідний технічний стан водоканалу, а також відновити мережу. Втрати води у 2007–2011 рр. виявили тенденцію до зростання. У 2009 та 2011 рр. дуже зросли втрати води у мережі, що пов'язано із збільшеною кількістю води, що потрапила до мережі.

2. Некорисним є одиничний показник об'єму води, що потрапляє до водогінної мережі ( $q_{wt}$ ), до об'єму проданої води ( $g_{sp}$ ), який становить від 1,93 до 2,17.

3. Усі показники, що характеризують втрати води, мають тенденцію до зростання у наступних роках. Відсотковий показник втрат води WSW зростав у 2007–2009 рр., що свідчить про зростання втрат води по відношенню до об'єму води, що потрапляє у мережу. Зростання втрат води бачимо також із відношення до кількості водогінних підключень, що можна проаналізувати із показника RLB2. Неминучі втрати UARL, що показують тенденцію до зростання, раптово збільшились у 2010 р. У цьому самому році не зафіксовано зростання кількості води, що потрапила до мережі, що може свідчити про збільшення витікання води, яке відбулось у цьому році, а також у наступному.

3. Інфраструктурний індекс витікання ІІІ у 2007–2011 рр. набуває дуже великих значень: від 11,2 до 9,7. За WBI Banding System, стан водогінної мережі для країн, що розвиваються, є слабким, але допустимим. За AWWA, стан мережі є недопустимим, тому що індекс у кожній області перевищує допустиме значення, яке становить 8. За критеріями, що окреслені у IWA, цей індекс показує на недопустимий технічний стан водогінної мережі, тому що у кожному році кілька разів перевищував значення 3,5. У польських містах значення інфраструктурного індексу витікання ІІІ за IWA знаходиться у межах від 3,16 до 16,62 [8]. Значення ІІІ для м. Сянока знаходиться у допустимих межах для міст Польщі.

4. Найбільша кількість аварій у 2007–2011 рр. відбулась на водогінних підключеннях. Найбільша інтенсивність ушкоджень спостерігалась у 2011 р. і становила  $\lambda = 1,02$  [ушк./км·рік], найбільша кількість аварій у цьому році становила 86, а найменша – спостерігалась у 2009 р. і становила 59 аварій з  $\lambda = 0,70$  [ушк./км·рік]. На роздільній мережі найбільша кількість аварій – 69 з інтенсивністю ушкоджень 0,73 [ушк./км·рік] спостерігалась у 2007 р., а найменша – 42 аварії з інтенсивністю ушкоджень 0,35 [ушк./км·рік] – у 2010 р. На магістральній мережі у досліджуваній області було найменше аварій. Найбільша кількість аварій зафіксована у 2010 році – 21 аварія з інтенсивністю ушкоджень 1,88 [ушк./км·рік], а найменше аварій у кількості 13 відбулась у 2011 р. з інтенсивністю ушкоджень 1,16 [ушк./км·рік]. Не підтверджена кореляція між інтенсивністю аварій  $\lambda$  та втратами води.

1. *Dokumentacja SUW w Trepczy, udostępniona przez SPGK Sp. Z o.o. w Sanoku.* 2. *Dokumentacja SUW w Zaslawiu, udostępniona przez SPGK Sp. Z o.o. w Sanoku* 3. Mayer P. et al. *AWWA Leak Detection & Water Accountability Comittee Report residential End Uses of Water.* AWWA Research Foundation, 1999. 4. Lambert A. Hibner W. *Losses from Water Supply Systems: Standard terminology and recommended performance measures; The Blu Pages.* Copyright by IWA, no. 10/2000. 5. Piechurski F.G. *Sposoby zmniejszania strat wody (cz.1).* Rynek Instalacyjny nr 11 i 12/2011 (cz.2). Wydawnictwo MEDIUM. – Warszawa, 2011. – S. 74–76 i S. 72–75. 6. Piegdoń I., Tchórzewska-Cieślak B. *Analiza awaryjności sieci wodociągowej miasta Sanoka z uwzględnieniem strat wody.* – Wydawnictwo Sigma-NOT. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 10/2012. – Warszawa. – S. 450–452. 7. Rak J. *Awaryjność sieci wodociągowych w miastach polskich. Wodociągi Polskie.* z.3 (27). – Wydawnictwo Izby Gospodarczej Wodociągi Polskie. – Bydgoszcz, 2003. – S.11–14. 8. Rak J., Tunia A.: *Analiza i ocena strat wody w wodociągu Rzeszowa. Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie” Instal,* z. 5/2012. – Warszawa. – S. 42–45. 9. Speruda S. Radecki R. *Ekonomiczny poziom wycieków.* – Wydawnictwo Translator s. c., Warszawa, 2003.