

Halina Hotłoś

Wpływ wysokości ciśnienia na uszkodzalność i koszty napraw sieci wodociągowej

Zapewnienie wymaganego poziomu niezawodności dostawy wody do odbiorców związane jest m.in. z utrzymaniem odpowiedniej wysokości ciśnienia w sieci wodociągowej. Podjęte przez autorkę przed kilku laty badania wykazały, że ograniczenie nadwyżek ciśnienia w sieci (w stosunku do wymaganego ciśnienia eksploatacyjnego) wpływa na znaczne zmniejszenie uszkodzalności przewodów, wysokości strat wody oraz związanych z tym kosztów eksploatacji systemu dystrybucji wody [1–4]. Wyniki prowadzonych badań mają duże znaczenie zarówno dla rozwoju dyscypliny naukowej w zakresie szacowania kosztów osiągania wymaganego poziomu niezawodności systemów wodociągowych, jak również dla praktyki inżynierskiej. Ograniczenie awaryjności sieci i strat wody powinno być jednym z priorytetów przedsiębiorstw wodociągowych. W celu poprawy sytuacji w tym zakresie podejmowane są w Polsce liczne działania, polegające m.in. na wdrażaniu nowych technologii oraz programów naprawczych i remontowych służących odnowie stanu technicznego zdekapitalizowanych sieci wodociągowych. Niezbędny jest w tym celu monitoring ilościowy i jakościowy stanu technicznego i operacyjnego poszczególnych elementów systemów wodociągowych, a zwłaszcza zapewnienie możliwości ciągłego nadzorowania i kontrolowania wysokości ciśnienia w systemie dystrybucji wody.

Uszkodzalność przewodów wodociągowych w osiedlach „Złotniki” i „Żerniki” we Wrocławiu

Źródłem danych do badań była dokumentacja eksploatacyjna dotycząca uszkodzeń oraz inwentaryzacji sieci wodociągowej obejmująca lata od 1990 r. do 1998 r., uzyskana z MPWiK sp. z o.o. we Wrocławiu [5]. Sieć wodociągowa we wrocławskich osiedlach „Złotniki” i „Żerniki”, podobnie jak w analizowanych dotychczas przez autorkę osiedlach „Kozanów”, „Pilczyce” i „Stabłowice” [2,3], zasilana jest w wodę z pompowni strefowej przy ul. Bystrzyckiej. Do 1995 r. sieć ta była objęta strefą wysokiego ciśnienia, pomimo niskiej zabudowy w osiedlach „Złotniki” i „Żerniki”. Efektem tego było wysokie ciśnienie w sieci, przekraczające w godzinach nocnych 0,60 MPa. Wprowadzone od początku 1995 r. zmiany w układzie zasilania w wodę tych osiedli spowodowały zmniejszenie o około 40% wysokości ciśnienia w sieci wodociągowej tego rejonu. Umożliwiło to wyodrębnienie dwóch okresów eksploatacji sieci w analizowanych osiedlach:

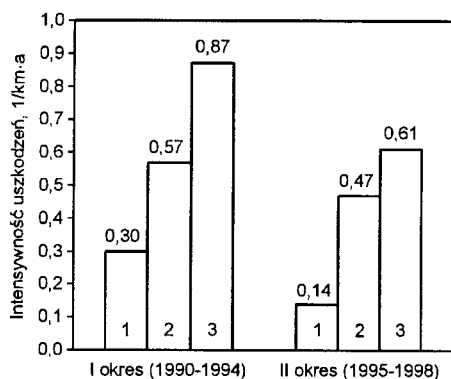
- I okres: eksploatacja w warunkach nadmiernego ciśnienia (lata 1990, 1991, 1993 i 1994), wynoszącego 0,40–0,45 MPa,
- II okres: eksploatacja w warunkach obniżonego ciśnienia (lata 1995–1998), wynoszącego 0,22–0,28 MPa; w tym okresie

powracano w sytuacjach awaryjnych do sposobu zasilania sprzed 1995 r., co powodowało wzrost ciśnienia.

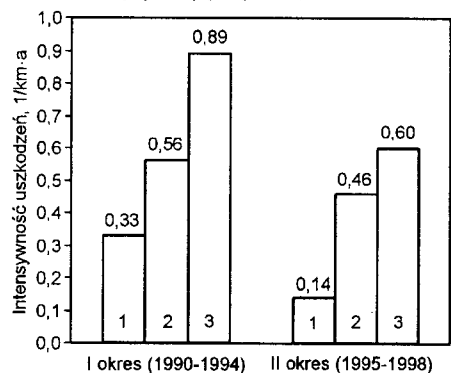
Sieć wodociągowa w osiedlach „Złotniki” i „Żerniki” we Wrocławiu jest bardzo różnorodna pod względem materiałów użytych do budowy przewodów oraz czasu ich eksploatacji. W końcu 1998 r. całkowita długość sieci rozprzewadzającej wodę (bez przyłączy domowych) wynosiła około 35 km. Przeważały przewody żeliwne stanowiące 76,5% długości, pozostała zaś część wykonana była ze stali i azbestocementu (13,5%) oraz z PCW i PEHD (10%). Znaczący udział w ogólnej długości sieci miały przewody budowane w okresie przedwojennym (lata 1928–1939) – około 60%, natomiast pozostałe wykonano w latach 1960–1975 i 1989–1997. W latach 1990–1998, objętych badaniami uszkodzalności sieci, zmianie uległa struktura materiałowa budowanych przewodów. Wzrósł udział przewodów z tworzyw sztucznych (z 1,8% do 13,5%), a zmniejszył się udział przewodów z żeliwa (z 83,3% do 76,5%).

Analizą uszkodzalności, w dwóch okresach eksploatacji ze względu na wysokość ciśnienia w sieci, objęto rurociągi o średnicach od 80 mm do 500 mm i łącznej długości około 35 km (stan z grudnia 1998 r.) oraz armaturę przewodów, tj. zasuwy w liczbie 177 o średnicach od 80 mm do 500 mm oraz 321 hydrantów podziemnych $\phi 80$. W ocenie niezawodności działania przewodów wykorzystano wskaźnik intensywności uszkodzeń (λ), który w odniesieniu do rurociągów (elementy liniowe) oznacza liczbę uszkodzeń przypadającą na jeden kilometr długości przewodów w ciągu roku (szt./km-a), zaś w odniesieniu do armatury (elementy nieliniowe) – udział poszczególnych rodzajów armatury, które uległy uszkodzeniu w ciągu roku w ogólnej liczbie armatury danego rodzaju (szt./a). Wartości liczbowe intensywności uszkodzeń rurociągów określono z rozdziałem na uszkodzenia złączy (λ_w) oraz pęknięcia i perforacje rur (λ_p). Dla zasuw i hydrantów wyróżniono uszkodzenia, które podlegały naprawie (umożliwiło to obliczenie wskaźników λ_{ZN} i λ_{HN}) oraz uszkodzenia, których konsekwencją była wymiana zasuw (λ_{ZW}) i hydrantów (λ_{HW}).

Średnia ogólna intensywność uszkodzeń wszystkich rurociągów (bez armatury) w okresie nadmiernego ciśnienia (I okres eksploatacji) wynosiła $\lambda=0,87$ 1/km-a, zaś w wypadku rurociągów żeliwnych $\lambda=0,89$ 1/km-a. Ze względu na znaczny udział w długości sieci przewodów starych (sprzed 1940 r.) dominowały uszkodzenia wywołane pęknięciami i perforacją materiału rur, stanowiące w odniesieniu do omawianych rurociągów odpowiednio 63% i 65%. Obniżenie ciśnienia w sieci o około 0,2 MPa od 1995 r. (II okres eksploatacji) spowodowało prawie 1,5-krotny spadek ogólnej intensywności uszkodzeń (λ), w tym ponad 2-krotny spadek intensywności uszkodzeń złączy (λ_w) i nieznaczny tylko spadek intensywności pęknięć (λ_p), w porównaniu ze wskaźnikami z I okresu eksploatacji. Dotyczyło to zarówno całej sieci (rys.1), jak i rurociągów żeliwnych ogółem (rys.2).

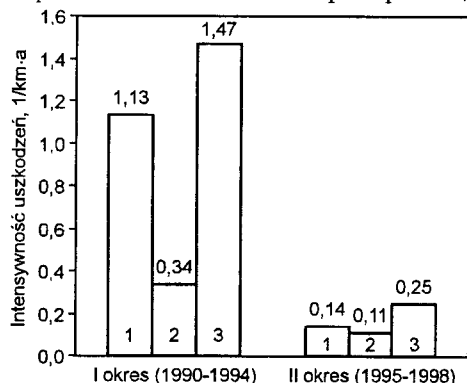


Rys. 1. Średnia intensywność uszkodzeń wszystkich rurociągów (1 – uszkodzenia złączy, 2 – pęknięcia rur, 3 – uszkodzenia ogółem)

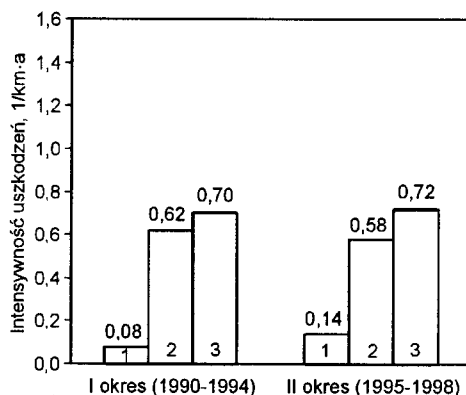


Rys. 2. Średnia intensywność uszkodzeń rurociągów żeliwnych (ogółem) (1 – uszkodzenia złączy, 2 – pęknięcia rur, 3 – uszkodzenia ogółem)

Znaczący spadek średniej intensywności uszkodzeń rurociągów żeliwnych (ogółem) w II okresie spowodowany został bardzo istotnym, bo prawie 6-krotnym spadkiem średniej intensywności uszkodzeń rurociągów zbudowanych w okresie powojennym (lata 1960–1993), która w I okresie wynosiła $\lambda = 1,47$ 1/km-a, zaś w II okresie $\lambda = 0,25$ 1/km-a. Intensywność uszkodzeń złączy tych rurociągów (λ_u) obniżyła się aż 8-krotnie, a intensywność pęknięć (λ_p) spadła 3-krotnie w czasie eksploatacji przy obniżonym ciśnieniu (rys.3), natomiast średnie wartości wskaźników λ , λ_u i λ_p dla rurociągów żeliwnych budowanych przed wojną (lata 1928–1939) praktycznie nie uległy zmianie w II okresie badań w porównaniu z I okresem (rys.4). Dla przewodów wykonanych z innych materiałów (stal, AC, PCW, PE), ze względu na ich małą długość (0,3–1,7 km), czas obserwacji był zbyt krótki (po 4 lata w każdym z okresów), aby uzyskane wartości wskaźników uszkodzeń uznać za miarodajne. Można jedynie stwierdzić, że bardzo wysoką uszkadzalnością charakteryzował się odcinek przewodu stalowego wybudowany w latach 1932–1934, którego średnia intensywność uszkodzeń wskutek perforacji materiału w I okresie wynosiła $\lambda_p = 7,68$ 1/km-a, a w II okresie spadła ponad 1,5-krotnie



Rys. 3. Średnia intensywność uszkodzeń rurociągów żeliwnych z lat 1960–1993 (1 – uszkodzenia złączy, 2 – pęknięcia rur, 3 – uszkodzenia ogółem)



Rys. 4. Średnia intensywność uszkodzeń rurociągów żeliwnych z lat 1928–1939 (1 – uszkodzenia złączy, 2 – pęknięcia rur, 3 – uszkodzenia ogółem)

do wartości $\lambda_p = 4,61$ 1/km-a. Obniżenie ciśnienia w sieci wpłynęło na prawie 2-krotny spadek średniej intensywności uszkodzeń zasuw z wartości $\lambda_Z = 0,103$ 1/a w I okresie do wartości $\lambda_Z = 0,055$ 1/a w II okresie. Jednocześnie wystąpił prawie 3-krotny spadek wskaźnika intensywności naprawy (z $\lambda_{ZN} = 0,100$ 1/a do $\lambda_{ZN} = 0,037$ 1/a) oraz 6-krotny wzrost intensywności wymiany zasuw (z $\lambda_{ZW} = 0,003$ 1/a do $\lambda_{ZW} = 0,018$ 1/a). W odniesieniu do hydrantów zmiany średniej intensywności uszkodzeń były niewielkie, bowiem w I okresie wskaźnik ten wynosił $\lambda_H = 0,072$ 1/a, zaś w II okresie $\lambda_H = 0,056$ 1/a. Zmianie uległa jedynie struktura uszkodzeń hydrantów, gdyż w I okresie dominowały uszkodzenia, które naprawiono ($\lambda_{HN} = 0,053$ 1/a, $\lambda_{HW} = 0,019$ 1/a), zaś w II okresie przeważały uszkodzenia, w konsekwencji których hydranty wymieniono ($\lambda_{HN} = 0,017$ 1/a, $\lambda_{HW} = 0,039$ 1/a).

Z porównania uszkadzalności rurociągów wykonanych z różnych materiałów i budowanych w różnych okresach (o różnym czasie eksploatacji) wynikają następujące uogólnienia:

- największą intensywnością uszkodzeń (spowodowaną perforacją rur) charakteryzował się rurociąg stalowy wybudowany w latach 1932–1934; dotyczyło to zarówno I jak i II okresu eksploatacji,
- nowsze rurociągi żeliwne (lata 1960–1993) charakteryzowały się w okresie eksploatacji z nadmiernym ciśnieniem wysoką uszkadzalnością, przewyższającą nawet ponad 2-krotnie uszkadzalność starszych rurociągów z żeliwa budowanych przed 1940 r.,
- obniżenie ciśnienia w sieci spowodowało, że średnia intensywność uszkodzeń nowszych rurociągów żeliwnych obniżyła się do 17% wartości tego wskaźnika z okresu eksploatacji przy nadmiernym ciśnieniu; w wypadku starszych rurociągów wartość wskaźnika λ nie zmieniła się.

– obniżenie ciśnienia w sieci nie wpłynęło istotnie na strukturę uszkodzeń rurociągów żeliwnych w analizowanych grupach wiekowych; w wypadku przewodów starszych dominowały w dalszym ciągu uszkodzenia wskutek pęknięć i perforacji rur, których intensywność stanowiła średnio 80% ogólnej intensywności uszkodzeń, co świadczy o znacznym zużyciu materiału rur w czasie długoletniej eksploatacji; w wypadku nowszych rurociągów żeliwnych dominowały zaś uszkodzenia złączy, choć ich udział w ogólnej uszkadzalności zmniejszył się z 77% w I okresie do 56% w II okresie eksploatacji, co z kolei świadczy m.in. o złym wykonaniu połączeń.

Wpływ obniżenia ciśnienia w sieci wodociągowej analizowanego rejonu Wrocławia na uszkadzalność rurociągów żeliwnych był zróżnicowany w zależności od średnicy rur:

- w grupie rurociągów żeliwnych budowanych do 1940 r. największy – bo ponad 3-krotny – spadek uszkadzalności w okresie pracy przy obniżonym ciśnieniu wystąpił dla przewodów o średnicy 175 mm, które w okresie nadmiernego ciśnienia charakteryzowały się najwyższą uszkadzalnością ($\lambda = 1,81$ 1/km-a),

– w grupie rurociągów żeliwnych ułożonych w latach 1960–1993 wysoką intensywnością uszkodzeń w I okresie badań charakteryzowała się większość rurociągów, a zwłaszcza o średnicy 100 mm z 1960 r. ($\lambda=2,39$ 1/km·a) i 350 mm z 1974 r. ($\lambda=2,23$ 1/km·a); ograniczenie ciśnienia w sieci w II okresie badań spowodowało znaczący spadek uszkodzalności większości rurociągów.

Koszty napraw uszkodzeń przewodów wodociagowych

Koszt naprawy uszkodzeń przewodów zależy przede wszystkim od rodzaju uszkodzenia i średnicy rurociągu. Na ogólny koszt naprawy uszkodzenia składa się koszt zużytych materiałów oraz koszt sprzętu i robocizny. Dane o kosztach napraw poszczególnych uszkodzeń elementów sieci wodociągowej w 1999 r. uzyskano z MPWiK sp. z o.o. we Wrocławiu [5] (tab.1). W wypadku uszkodzeń rurociągów wyróżniono:

- koszt naprawy uszkodzeń złączy (K_{nu}),
- koszt naprawy pęknięć (poprzecznych, podłużnych) i perforacji wywołanej korozją materiału rur (K_{np}).

Średni jednostkowy koszt (zł) naprawy uszkodzeń złączy przewodów rósł wraz ze wzrostem średnicy (d) rurociągów od 80 mm do 600 mm wg zależności (poziom istotności 0,00022):

$$K_{nu} = 16,90d + 1400 \quad (1)$$

Koszt materiałów zużytych przy usuwaniu uszkodzeń złączy, tj. głównie doszczelniaaczy połączeń kielichowych, wynosił średnio od 5% do 14% całkowitych kosztów naprawy.

Średni jednostkowy koszt (zł) naprawy pęknięć lub perforacji rósł wraz ze wzrostem średnicy (d) rurociągów w zakresie od 80 mm do 600 mm wg zależności (poziom istotności 0,00001):

$$K_{np} = 45,689d - 1868,4 \quad (2)$$

Koszt materiałów zużytych do naprawy pęknięć poprzecznych lub wżerów korozyjnych rur, tj. nasuwek naprawczych wynosił średnio od 3% do 7% kosztów całkowitych. W wypadku pęknięć podłużnych, których naprawa polegała na wymianie uszkodzonego odcinka rury i założeniu dwóch nasuwek, koszt materiałów był wyższy i stanowił średnio od 7% do 35% całkowitych kosztów naprawy. Średnie koszty naprawy pęknięć i perforacji rur były wyższe od średnich kosztów naprawy uszkodzeń złączy. Dla rurociągów o średnicach od 80 mm do 600 mm koszty te wynosiły $K_{np}=(1,30+2,30)K_{nu}$. W wypadku uszkodzeń armatury wyróżniono (tab.1):

- koszt naprawy zasuwy (K_{ZN}) i wymiany zasuwy (K_{ZW}),
- koszt naprawy hydrantu (K_{HN}) i wymiany hydrantu (K_{HW}).

Koszt naprawy zasuw był prawie stały (brak istotnej zależności od średnicy zasuw) i dla średnic od 80 mm do 400 mm wynosił $K_{ZN}=2000\div4800$ zł (śr. 3000 zł). Koszt materiałów stanowił od ułamka do 10% całkowitych kosztów naprawy zasuw. Koszt wymiany zasuw (zł) rósł wraz ze wzrostem średnicy (d) od 80 mm do 400 mm wg zależności (poziom istotności 0,00007):

$$K_{ZW} = \exp(8,03512 + 0,00458616d) \quad (3)$$

Koszt materiałów (głównie zasuw) stanowił od 20% (dla śr. 80 mm) do 50% (dla śr. 300 mm i 400 mm) całkowitych kosztów wymiany zasuw. Koszt wymiany hydrantu wynosił $K_{HW}=3500$ zł. Koszt materiałów stanowił od 12% do 56% (śr. 24%) całkowitych kosztów. Ze względu na brak danych z obserwacji przyjęto, że koszt naprawy hydrantu był mniejszy od kosztu wymiany o wartość (cenę) hydrantu, zatem $K_{HN}=3000$ zł.

Dane o kosztach napraw uszkodzeń wykorzystano do oceny wpływu zmniejszenia intensywności uszkodzeń przewodów wskutek ograniczenia ciśnienia w sieci wodociągowej w osiedlach „Złotniki” i „Żerniki” we Wrocławiu na całkowite koszty napraw tej sieci. W tym celu określono wskaźniki strumienia kosztów napraw uszkodzeń (κ), oznaczające roczne koszty napraw w odniesieniu do jednostki długości przewodów, obliczone jako iloczyn intensywności uszkodzeń (λ) i kosztów naprawy uszkodzeń (K). Zarówno intensywność uszkodzeń, jak i koszty napraw zależą od średnicy przewodów i rodzaju uszkodzeń, zatem wskaźniki κ obliczono oddzielnie dla przewodów o określonych średnicach i z uwzględnieniem rodzaju ich uszkodzeń, zgodnie z metodyką przedstawioną w pracy [3]. Znając wartości wskaźników κ dla poszczególnych przewodów oraz uwzględniając ich długość, określono całkowite koszty naprawy analizowanej sieci oraz jej wskaźniki strumienia kosztów napraw – zarówno ogólne, jak i z podziałem na rodzaj uszkodzeń. Obliczenia przeprowadzono przy założeniu stałych jednostkowych kosztów napraw uszkodzeń (wg danych z 1999 r.) oraz dla średnich wartości intensywności uszkodzeń rurociągów w analizowanych okresach eksploatacji sieci. Pominięto koszty napraw uszkodzeń armatury, które okazały się nieznaczne. Obniżenie ciśnienia w II okresie eksploatacji, w porównaniu do wartości z I okresu spowodowało (tab.2):

- spadek ogólnej intensywności uszkodzeń do wartości $\lambda_{II}=0,70\lambda_I$ (sieć ogółem) i $\lambda_{II}=0,67\lambda_I$ (rurociągi żeliwne),

- obniżenie całkowitego rocznego kosztu usuwania uszkodzeń do wartości $K_{cII}=0,48K_{cI}$ (sieć ogółem) i $K_{cII}=0,43K_{cI}$ (rurociągi żeliwne),

- obniżenie wskaźnika strumienia kosztów napraw do wartości $\kappa_{sII}=0,47\kappa_{sI}$ (sieć ogółem) i $\kappa_{sII}=0,43\kappa_{sI}$ (rurociągi żeliwne).

Jak można zauważyć, spadkowi o 30% średniego wskaźnika intensywności uszkodzeń rurociągów (λ) – dzięki ograniczeniu ciśnienia w sieci – towarzyszył spadek średniego wskaźnika strumienia kosztów napraw (κ_s) o ponad 50%. Dotyczyło to zarówno sieci ogółem, jak i rurociągów żeliwnych. Większy spadek wskaźnika κ_s niż wskaźnika λ wynikał z faktu, że w II okresie znacznemu ograniczeniu uległa uszkodzalność rurociągów o większych średnicach, których jednostkowy koszt naprawy (K) był wyższy. W rzeczywistości koszty napraw uszkodzeń zmieniały się w czasie. Dysponując zatem danymi o kosztach napraw uszkodzeń rurociągów we Wrocławiu w 1993 r. [1], w 1996 r. [3] oraz w 1999 r. obliczono i porównano rzeczywiste koszty usuwania uszkodzeń rurociągów żeliwnych w latach 1993, 1996 i 1998 w analizowanym rejonie Wrocławia. Wskaźnik κ_s dla 1998 r. obliczono przyjmując jednostkowe koszty napraw uszkodzeń z badań w 1999 r. (brak danych dla 1998 r.) Charakterystyczne wartości wskaźników w osiedlach „Złotniki” i „Żerniki” wynosiły:

- w 1993 r.: $\lambda=0,81$ 1/km·a, $\kappa_s=1288$ zł/km, $K_c=36392$ zł,
- w 1996 r.: $\lambda=0,75$ 1/km·a, $\kappa_s=1707$ zł/km, $K_c=48095$ zł,
- w 1998 r.: $\lambda=0,88$ 1/km·a, $\kappa_s=3056$ zł/km, $K_c=82980$ zł.

Z porównania wartości wskaźników wynika, że niewielkiej zmianie wskaźnika uszkodzeń (λ) towarzyszył istotny wzrost wskaźnika kosztów napraw (κ_s). Dla przykładu, w 1998 r. wskaźnik uszkodzeń wynosił $\lambda_{98}=1,09\lambda_{93}$, zaś wskaźnik strumienia kosztów napraw wzrósł do wartości $\kappa_{s98}=2,37\kappa_{s93}$, głównie ze względu na inflację.

Tabela 1. Średnie jednostkowe koszty napraw uszkodzeń rurociągów i zasuw we Wrocławiu w 1999 r., z podziałem na średnice i rodzaj uszkodzeń

Średnica mm	Koszty napraw rurociągów, zł				Koszty usuwania uszkodzeń zasuw, zł		
	średnie z obserwacji		obliczone		koszt naprawy K _{ZN}	koszt wymiany K _{ZW}	
	K _{nu}	K _{np}	K _{nu} wg (1)	K _{np} wg (2)		śr. z obserwacji	wg (3)
80	2441	3345	2752	1787	2628	4347	4456
100	–	3889	3090	2700	2370	4766	4884
125	3238	4242	3512	3843	2006	7022	5477
150	4376	6548	3935	4985	3500	5367	6143
175	3422	5279	4358	6127	–	–	6889
200	3053	5584	4780	7269	–	6822	7726
225	6479	8450	5202	8412	–	–	8665
250	6435	9052	5625	9554	4875	9292	9717
300	9392	9022	6470	11838	3889	13823	12222
350	–	–	7316	14123	–	–	15371
400	6208	15055	8161	16407	4614	18987	19333
500	9193	–	9851	20976	–	–	–
600	11952	27971	11541	25545	–	–	–

Tabela 2. Wskaźniki uszkodzeń i wskaźniki kosztów napraw przewodów w osiedlach Złotniki i Żerniki we Wrocławiu, w dwóch okresach eksploatacji

Rodzaj sieci	Eksploatacja	Średnia intensywność uszkodzeń 1/km·a			Średni strumień kosztów napraw zł/km·a			Średnie koszty napraw uszkodzeń sieci zł/a		
		λ _u	λ _p	λ	K _{su}	K _{sp}	K _s	K _u	K _p	K _c
Sieć ogółem	I okres	0,30	0,57	0,87	2259	2887	5146	77986	99631	177617
	II okres	0,14	0,47	0,61	609	1825	2434	21433	64210	85643
	II/I	0,47	0,82	0,70	0,27	0,63	0,47	0,27	0,64	0,48
Rurociągi żeliwne	I okres	0,33	0,56	0,89	2427	2861	5288	67785	79892	147677
	II okres	0,14	0,46	0,60	606	1697	2303	16865	47229	64094
	II/I	0,42	0,82	0,67	0,25	0,59	0,43	0,25	0,59	0,43

Podsumowanie

Prawie 60% długości sieci wodociągowej w osiedlach „Złotniki” i „Żerniki” we Wrocławiu stanowią przewody żeliwne sprzed 1940 r., charakteryzujące się wysoką uszkodzalnością wskutek pęknięć i perforacji rur (wżery korozyjne), natomiast przewody żeliwne ułożone po 1960 r. podatne są na uszkodzenia złączy. Obniżenie ciśnienia, które do 1995 r. utrzymywane było na zbyt wysokim poziomie, spowodowało znaczne zmniejszenie wskaźników uszkodzeń i wskaźników kosztów napraw przewodów wodociągowych. Wskaźniki te mogą być wykorzystane do podejmowania optymalnych decyzji w zakresie eksploatacji i modernizacji sieci wodociągowej.

LITERATURA

1. H. HOTŁOŚ, E. MIELCARZEWICZ: Intensywność uszkodzeń i koszty napraw przewodów sieci wodociągowych. GWiTS, 1996, nr 1, ss. 25–28.

2. H. HOTŁOŚ: Wpływ czasu eksploatacji i wysokości ciśnienia w sieci wodociągowej wybranego rejonu Wrocławia na uszkodzalność przewodów żeliwnych. GWiTS, 1999, nr 4, ss. 129–132.

3. H. HOTŁOŚ: Ograniczenie ciśnienia w sieci wodociągowej jako czynnik zmniejszający uszkodzalność i koszty napraw uszkodzeń przewodów. GWiTS, 1999, nr 5, ss. 180–184.

4. H. HOTŁOŚ: Badania wpływu warunków eksploatacji sieci wodociągowych na ich wskaźniki niezawodności i wskaźniki kosztów napraw. Raport Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, seria SPR, nr 31, Wrocław 2000 (praca nie publikowana).

5. Materiały źródłowe o uszkodzeniach i inwentaryzacji przewodów wodociągowych w osiedlach „Złotniki” i „Żerniki” we Wrocławiu w latach 1990–1998. Koszty napraw uszkodzeń sieci wodociągowej we Wrocławiu w 1999 r. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji spółka z o.o. we Wrocławiu (praca nie publikowana).

Effect of Pressure Head on the Rate of Failure and Repair Costs of Water-Pipe Networks

Reliability of water supply to the user can be increased, e.g., by limiting excessive pressure in the water-pipe network, thus decreasing the rate of pipe failure, the volume of water loss in the pipeline and related operating costs. For the needs of the present study, use was made of the data sets (provided by the Waterworks of Wrocław) which had been collected during eight years of pipeline operation in two housing estates. The effect of pressure head on failure rate and repair cost was examined in terms of the following parameters: pipe material, pipe diameter,

type of pipe damage, type of fittings damage, duration of service and year of pipeline construction. Data on the costs of pipeline and fittings repair covered the year 1999. The study has shown that the reduction of excessive pressure in the investigated pipeline brought about a noticeable decrease in the indices of damage and repair cost flow for the given water-pipe network. Such indices may be of utility in budget planning, and also in finding the optimal decision with respect to the operation or retrofit of existing water-pipe lines.