

Halina Hotłoś

Metodyka i przykłady prognozowania kosztów naprawy przewodów wodociągowych

Znajomość i możliwość prognozowania intensywności uszkodzeń przewodów oraz jednostkowych kosztów ich naprawy jest konieczna m.in. do opracowania strategii odnowy sieci wodociągowej, polegającej na określeniu górnej granicy opłacalności ekonomicznej naprawy uszkodzeń, powyżej której bardziej opłacalna jest renowacja lub wymiana przewodów i armatury wodociągowej. W tym celu niezbędna jest także znajomość jednostkowych kosztów wymiany i renowacji przewodów, relacje między którymi zależą głównie od metody renowacji oraz średnicy i długości odnawianych odcinków przewodów.

Jak wynika m.in. z badań własnych, najtańszą i najczęściej stosowaną metodą renowacji przewodów wodociągowych jest cementacja, której koszty we Wrocławiu stanowiły 40+70% kosztów budowy nowych rurociągów o średnicach 100+300 mm [1]. Decyzje o zakresie i sposobie modernizacji sieci wodociągowej muszą być ponadto oparte na wynikach wszechstronnych badań i analiz stanu technicznego i hydraulicznego sieci przewodów, wysokości ciśnień, sieciowych strat wody i jakości wody dostarczanej użytkownikom [2–4]. Jak wykazuje praktyka, podstawowym kryterium podjęcia decyzji o odnowie przewodów wodociągowych w Polsce było dotychczas kryterium ich uszkodzalności.

Do powszechnie znanych korzyści wynikających z renowacji lub wymiany przewodów i armatury wodociągowej należą:

- zmniejszenie ich uszkodzalności (z analiz przeprowadzonych w MPWiK we Wrocławiu wynika, że 4-krotnie zmalała średnia liczba uszkodzeń przewodów w roku po ich renowacji metodą cementacji),

- poprawa jakości wody dostarczanej odbiorcom, m.in. dzięki wyeliminowaniu możliwości jej wtórnego zanieczyszczenia w czasie awarii,

- ograniczenie sieciowych strat wody, a w konsekwencji zmniejszenie ilości oraz kosztów ujęcia, oczyszczenia i dystrybucji wody,

- zmniejszenie strat hydraulicznych i stabilizacja ciśnienia wody w sieci,

- zmniejszenie kosztów naprawy uszkodzeń przewodów oraz eksploatacji pompowni,

- zwiększenie niezawodności działania systemu dystrybucji wody.

Znajomość kosztów naprawy uszkodzeń przewodów jest także niezbędna do wyznaczenia wymaganego poziomu niezawodności systemu wodociągowego, z uwzględnieniem rachunku ekonomicznego. Konieczne jest w tym celu dysponowanie informacjami o nakładach finansowych zapewniających uzyskanie wymaganego poziomu niezawodności systemu oraz informacjami o kosztach zawodnego jego działania, w tym o kosztach naprawy uszkodzeń. Znajomość i możliwość prognozowania kosztów naprawy uszkodzeń przewodów wodociągowych jest ponadto przydatna w praktyce do planowania – z kilkuletnim wyprzedzeniem – środków finansowych na naprawę sieci wodociągowej lub jej części.

Dane wyjściowe do prognozowania kosztów naprawy sieci wodociągowej

Podstawą do prognozowania kosztów naprawy przewodów wodociągowych jest znajomość jednostkowych kosztów naprawy różnych rodzajów uszkodzeń rurociągów i armatury oraz znajomość liczby i intensywności ich uszkodzeń. Z tego względu koszty naprawy można prognozować jedynie tam, gdzie prowadzona jest systematyczna (co najmniej kilku- czy kilkunastoletnia) rejestracja tych parametrów, z uwzględnieniem m.in. rodzaju i wielkości elementów sieci oraz rodzaju ich uszkodzeń. W oparciu o posiadane dane można określić zmiany intensywności uszkodzeń (w zależności od parametrów charakteryzujących sieć i warunków jej eksploatacji) oraz zmiany jednostkowych kosztów naprawy uszkodzeń w czasie eksploatacji. Umożliwia to określenie wartości wskaźników kosztów naprawy i całkowitych rocznych kosztów naprawy uszkodzeń nawet z kilkuletnim wyprzedzeniem. W zależności od potrzeb, koszty naprawy można prognozować w odniesieniu do określonych odcinków przewodów, części lub całej sieci wodociągowej.

Pod pojęciem wskaźnika kosztów naprawy (κ), nazywanym wskaźnikiem strumienia kosztów naprawy, rozumiany jest koszt naprawy uszkodzeń w przeliczeniu na jednostkę długości sieci w jednostce czasu, i jest wyrażany w zł/km·a. Wskaźnik ten jest iloczynem intensywności uszkodzeń (λ) i jednostkowego kosztu naprawy (K_n), określonego rodzaju uszkodzenia rozważanych elementów sieci. Wartość strumienia kosztów naprawy (κ) przewodu o określonej średnicy (d) i długości (l) jest sumą wartości wskaźników obliczonych dla rurociągów (κ_r) i armatury (κ_a), z uwzględnieniem rodzaju uszkodzeń tych elementów przewodu. Całkowity roczny koszt naprawy przewodu (K) jest iloczynem wartości strumienia kosztów naprawy i długości przewodu. Średni strumień

kosztów naprawy sieci wodociągowej (κ_s), zbudowanej z odcińków przewodów o różnych średnicach, można natomiast obliczyć jako średnią ważoną wartości ich wskaźnika κ , w której wagą jest długość przewodów. Metodę tę szczegółowo omówiono w pracach [5,6]. Należy podkreślić, że podstawowym problemem w prognozowaniu jest niejednokrotnie brak możliwości określenia kosztów naprawy, w zależności od rodzaju i średnicy elementu, rodzaju uszkodzenia itp. Dotyczy to zwłaszcza przedsiębiorstw wodociągowych, w których naprawy dokonywane są przez własne brygady.

W niniejszej pracy wykorzystano dane dotyczące kosztów naprawy systemem zleconym (przez specjalistyczne firmy) przewodów magistralnych i rozdzielczych we Wrocławiu. Na podstawie obserwacji w 1993 r., 1996 r. i 1999 r. zbadano m.in. korelację między kosztem naprawy a rodzajem uszkodzenia oraz średnicą rurociągów i armatury. Określono także tendencje zmian jednostkowych kosztów naprawy poszczególnych rodzajów uszkodzeń rurociągów i armatury w czasie badań, z uwzględnieniem zmiany wskaźników cen. Wyniki tych badań i analiz, niezbędne w prognozowaniu kosztów naprawy, przedstawiono w pracy [7].

Prognoza kosztów naprawy sieci wodociągowej musi uwzględnić także wzrost (lub spadek) wskaźników cen, tj. inflację lub deflację. Wskaźniki inflacji w Polsce w latach 90. XX w. były bardzo wysokie i – jak wykazano w pracy [7] – ich wpływ na jednostkowe koszty naprawy przewodów był znaczący i zmienny w analizowanych przedziałach czasu. Dlatego prognozując koszty naprawy uszkodzeń przewodów należy uwzględnić:

- tendencje zmian kosztów naprawy w wieloletnim (różne rodzaje uszkodzeń wyróżnionych elementów sieci), określone z uwzględnieniem (potrąceniem) wskaźnika cen,
- prognozowane wartości wskaźnika cen lub obliczony w oparciu o nie wskaźnik wzrostu (spadku) cen.

Metody prognozowania kosztów naprawy uszkodzeń sieci wodociągowej

Metoda I opiera się na prognozie zmian średnich wartości wskaźnika strumienia kosztów (κ_s) naprawy sieci wodociągowej i polega na:

- obliczeniu wartości wskaźnika κ_s w poszczególnych latach co najmniej kilkuletniego okresu obserwacji, w stałych warunkach eksploatacji sieci wodociągowej,
- obliczeniu wartości wskaźnika κ_s z potrąceniem inflacji,
- określeniu zależności funkcyjnych zmian wartości wskaźnika κ_s w poszczególnych latach (A) obserwacji,
- określeniu (z powyższych zależności) wartości wskaźnika κ_s w roku prognozy, a następnie obliczeniu jego wartości z uwzględnieniem prognozowanego wzrostu (spadku) cen,
- obliczeniu całkowitych kosztów naprawy sieci w roku prognozy, które przy założeniu całkowitej długości sieci (L) wyniosą:

$$K_c = \kappa_s L \quad (1)$$

Metoda II opiera się na prognozie zmian intensywności uszkodzeń (λ) rurociągów i armatury oraz zmian jednostkowych kosztów (K_n) ich naprawy. W metodzie tej należy:

- określić zależności funkcyjne zmian intensywności uszkodzeń oraz jednostkowych kosztów naprawy, po potrąceniu inflacji (deflacji), w czasie obserwacji,

– obliczyć (z powyższych zależności) wartości parametrów λ i K_n dla roku prognozy,

– obliczyć wartość strumienia kosztów naprawy sieci ze wzoru $\kappa = \lambda K_n$, a następnie z uwzględnieniem prognozowanego wzrostu (spadku) cen,

– ze wzoru (1) obliczyć całkowite prognozowane roczne koszty naprawy sieci wodociągowej.

Należy podkreślić, że obliczenia według obu metod (w zależności od potrzeb) można przeprowadzić:

- dla sieci przewodów ogółem, uwzględniając jedynie podział na rurociągi i armaturę,
- dla poszczególnych rodzajów (średnic) rurociągów i armatury.

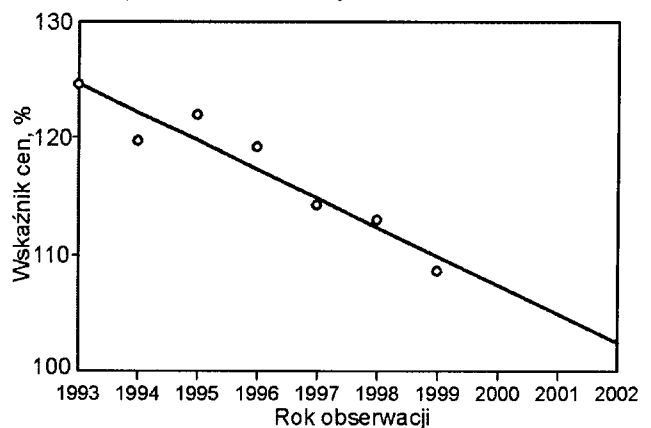
Prognoza kosztów naprawy sieci wodociągowej

Koszty naprawy sieci wodociągowej można prognozować w miastach, w których prowadzone są systematyczne badania i analizy zarówno uszkodzeń sieci wodociągowej, jak i kosztów ich usuwania. Jest to możliwe np. we Wrocławiu, gdzie znane są jednostkowe koszty naprawy (systemem zleconym) sieci wodociągowej w 1993 r., 1996 r. i 1999 r. [7]. Zakładając, że koszty naprawy można prognozować z maksymalnym wyprzedzeniem 2+4 lata – prognoza dotyczy będzie 2002 r.

Obecnie znane są już wskaźniki cen produkcji budowlano-montażowej w Polsce po 1999 r. Rzeczywisty wzrost cen w różnych okresach badań (uwzględnionych w analizie), obliczony na podstawie wskaźników cen według GUS [8], zestawiono w tabeli 1. Dla przykładu, wskaźnik rzeczywistego wzrostu cen w latach 1999–2002 wyniósł 1,13. Zakładając jednak, że nie są znane wartości wskaźników cen po 1999 r. i wykorzystując dane GUS z obserwacji w latach 1993–1999 (rys. 1) określono następującą postać zmian wartości wskaźnika cen w latach (A) badań:

$$W_i = 127,2 - 2,475(A - 1992) \quad (\alpha=0,001) \quad (2)$$

Obliczone ze wzoru (2) prognozowane wskaźniki cen w 2000 r., 2001 r. i 2002 r. wyniosły odpowiednio 107,4%, 104,9% i 102,4% (licząc rok do roku). Prognozowany wzrost cen w 2002 r. (odniesiony do 1999 r.) wyniósł zatem 1,15, natomiast błąd prognozy, w stosunku do rzeczywistego wzrostu cen w tym okresie (1,13), wyniósł niecałe 2%.



Rys. 1. Zmiana wartości wskaźnika cen (W_i) w latach 1993–1999 [8] i prognoza do 2002 r.

Tabela 1. Rzeczywiste wskaźniki wzrostu cen produkcji budowlano-montażowej [8]

Rok analizowany	1993	1996	1999		1998		2002	
Rok odniesienia	1990	1993	1996	1993	1993	1996	1998	1999
Wskaźnik wzrostu cen	2,15	1,74	1,40	2,44	2,24	1,29	1,23	1,13

Prognoza kosztów naprawy sieci wodociągowej we Wrocławiu w rejonie 2

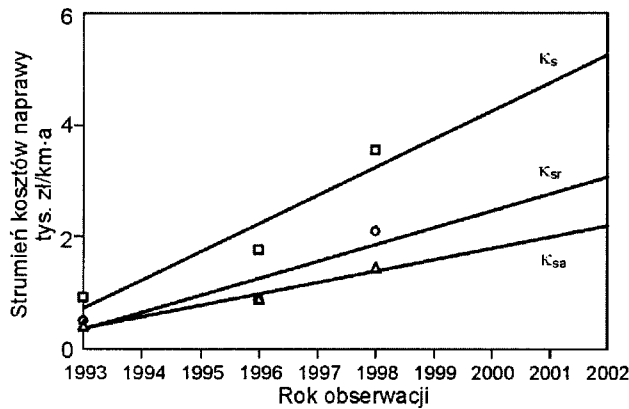
Wartości wskaźnika strumienia kosztów naprawy uszkodzeń przewodów w 2002 r. określono według metody I. Wykorzystując średnie wartości wskaźnika strumienia kosztów naprawy rurociągów (κ_{sr}), armatury (κ_{sa}) oraz przewodów ogółem ($\kappa_s = \kappa_{sr} + \kappa_{sa}$) w 1993 r., 1996 r. i 1998 r. ([7] – tab. 4) wyznaczono odpowiednie ich wartości z potrąceniem wskaźników wzrostu cen, odniesionych do poprzedniego roku badań (tab. 1). Następnie określono korelacje między tymi wskaźnikami kosztów a rokiem obserwacji (A):

$$\kappa_{sr} = 42,3 + 302,368(A - 1992) \quad (\alpha > 0,1) \quad (3)$$

$$\kappa_{sa} = 180,9 + 201,658(A - 1992) \quad (\alpha = 0,01) \quad (4)$$

$$\kappa_s = 223,2 + 504,026(A - 1992) \quad (\alpha > 0,1) \quad (5)$$

z których dla 2002 r. (rok prognozy) uzyskano $\kappa_{sr} = 3066$ zł/km·a, $\kappa_{sa} = 2197$ zł/km·a oraz $\kappa_s = 5263$ zł/km·a (rys. 2).



Rys. 2. Zmiana strumienia kosztów naprawy (z potrąceniem inflacji) rurociągów (κ_{sr}), armatury (κ_{sa}) i przewodów ogółem (κ_s) w czasie obserwacji i prognoza do 2002 r. we Wrocławiu (rejon 2)

Prognozowany w latach 1998–2002 wzrost cen, obliczony z wykorzystaniem wzoru (2), wyniósł 1,27. Zatem prognozowane w 2002 r. wartości strumienia kosztów naprawy wyniosły ostatecznie $\kappa_{sr} = 3894$ zł/km·a, $\kappa_{sa} = 2790$ zł/km·a oraz $\kappa_s = 6684$ zł/km·a. Zakładając, że długość sieci przewodów nie ulegnie zmianie od 1998 r. i w 2002 r. będzie równa $L = 35,2$ km, całkowite prognozowane koszty K_c , obliczone według wzoru (1), wyniosły ok. 235 tys. zł.

W 1998 r. strumień kosztów naprawy analizowanej części sieci wodociągowej we Wrocławiu wyniósł $\kappa_s = 4560$ zł/km·a, stąd wniosek, że w latach 1999–2002 prognozowany wzrost jego wartości wyniósł 46%. Prognoza dla 2002 r. powinna być obecnie zweryfikowana, gdyż oparta była na obserwacji intensywności uszkodzeń (λ) w dwóch różnych okresach eksploatacji, biorąc pod uwagę ciśnienie w sieci (1993 r. – okres nadmiernego ciśnienia, 1996 r. i 1998 r. – okres obniżonego ciśnienia). Ponadto możliwa obecnie ocena rzeczywistych wartości wskaźników uszkodzeń (λ) i jednostkowych kosztów naprawy (K_n) w latach 1999–2004 może stanowić podstawę do prognozowania kosztów naprawy sieci po 2004 r. Obecnie można zweryfikować jedynie prognozę wskaźnika wzrostu cen (1,27), którego rzeczywista wartość według danych GUS w latach 1998–2002 wyniosła 1,23 (tab. 1). Błąd prognozy wyniósł ok. 3%.

Prognoza kosztów naprawy sieci wodociągowej w Oleśnicy

Obliczenia prognozowanych wskaźników kosztów naprawy sieci wodociągowej według zaproponowanych metod przedstawiono także na przykładzie Oleśnicy, gdzie w czasie badań jednostkowych kosztów naprawy uszkodzeń, tj. w 1993 r., 1996 r. i 1999 r. warunki eksploatacji sieci wodociągowej, ze względu na ciśnienie, były jednakowe (okres obniżonego ciśnienia w sieci) [7]. Zachowanie niezmiennych parametrów pracy i warunków eksploatacji sieci w okresie badań poprzedzającym prognozę jest bardzo ważne, gdyż wpływa na poprawność oceny, a więc i prognozy wskaźników intensywności uszkodzeń przewodów. Z konieczności do prognozy wykorzystano dane o jednostkowych kosztach naprawy we Wrocławiu (ze względu na brak danych z Oleśnicy). Prognoza dotyczyła 2002 r.

Metoda Ia – prognoza kosztów naprawy z wykorzystaniem wskaźnika strumienia kosztów (κ_s) przewodów ogółem:

– Obliczenie średnich z obserwacji wartości strumienia kosztów naprawy rurociągów (κ_{sr}), armatury (κ_{sa}) i przewodów ogółem (κ_s) w 1993 r., 1996 r. i 1999 r. Przykładowe obliczenia dla 1996 r. zamieszczono w tabeli 2.

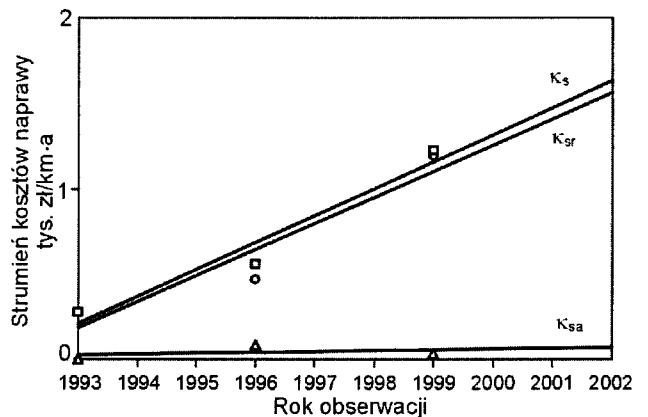
– Obliczenie wartości strumienia kosztów naprawy z uwzględnieniem rzeczywistego wzrostu cen (odniesionego do poprzedniego roku badań – tab. 1), a następnie określenie korelacji między wskaźnikami κ_s a rokiem obserwacji (A):

$$\kappa_{sr} = 36 + 152,50(A - 1992) \quad (\alpha > 0,1) \quad (6)$$

$$\kappa_{sa} = 18 + 5,33(A - 1992) \quad (\alpha < 0,1) \quad (7)$$

$$\kappa_s = 54 + 157,83(A - 1992) \quad (\alpha = 0,01) \quad (8)$$

– Obliczone ze wzorów (6)–(8) wartości wskaźników kosztów w 2002 r. wyniosły $\kappa_{sr} = 1561$ zł/km·a, $\kappa_{sa} = 71$ zł/km·a oraz $\kappa_s = 1632$ zł/km·a (rys. 3).



Rys. 3. Zmiana strumienia kosztów naprawy (z potrąceniem inflacji) rurociągów (κ_{sr}), armatury (κ_{sa}) i przewodów ogółem (κ_s) w czasie obserwacji i prognoza do 2002 r. w Oleśnicy

– Zakładając prognozowany wzrost cen w latach 1999–2002 równy 1,15, obliczony z wykorzystaniem wzoru (2), prognozowane wartości strumienia kosztów naprawy uszkodzeń rurociągów, armatury i przewodów ogółem ostatecznie wyniosły $\kappa_{sr} = 1795$ zł/km·a, $\kappa_{sa} = 82$ zł/km·a oraz $\kappa_s = 1877$ zł/km·a.

Metoda Ib – prognoza kosztów naprawy z wykorzystaniem wskaźnika strumienia kosztów rurociągów (κ_r) z uwzględnieniem ich średnicy:

– Na podstawie wartości wskaźnika κ_r dla rurociągów o średnicach 80+500 mm w 1993 r., 1996 r. (tab. 2) i 1999 r. obliczono ich wartości po potrąceniu inflacji, a następnie określono zmiany w czasie obserwacji:

dla rurociągów o średnicy 100 mm:

$$\kappa_r = 40 + 84(A - 1992) \quad (\alpha=0,05) \quad (9)$$

dla rurociągów o średnicy 150 mm:

$$\kappa_r = -73 + 173(A - 1992) \quad (\alpha>0,1) \quad (10)$$

dla rurociągów o średnicy 200 mm:

$$\kappa_r = 369,7 - 35,17(A - 1992) \quad (\alpha>0,1) \quad (11)$$

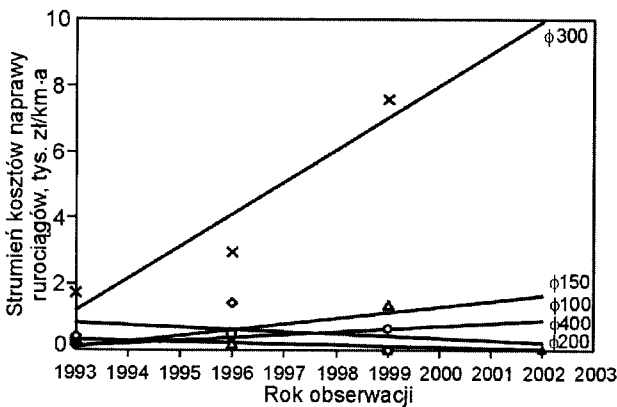
dla rurociągów o średnicy 300 mm:

$$\kappa_r = 230,7 + 969(A - 1992) \quad (\alpha=0,1) \quad (12)$$

dla rurociągów o średnicy 400 mm:

$$\kappa_r = 886,7 - 67,5(A - 1992) \quad (\alpha>0,1) \quad (13)$$

Wartości wskaźnika kosztów (κ_r) w 2002 r. wyniosły dla śr. 80 mm – 0 zł/km·a, dla śr. 100 mm – 880 zł/km·a, dla śr. 150 mm – 1657 zł/km·a, dla śr. 200 mm – 18 zł/km·a, dla śr. 300 mm – 9921 zł/km·a, dla śr. 400 mm – 212 zł/km·a oraz dla śr. 500 mm – 0 zł/km·a (rys. 4).



Rys. 4. Zmiana strumienia kosztów naprawy (z potrąceniem inflacji) rurociągów (κ_{sr}) o średnicach 100+400 mm w czasie obserwacji i prognoza do 2002 r. w Oleśnicy

– Zakładając długość przewodów o określonych średnicach równą długości w 2000 r., obliczono całkowity roczny koszt naprawy w 2002 r. oraz średni strumień kosztów naprawy rurociągów, który wyniósł $\kappa_{sr}=1548$ zł/km·a.

– Prognozowany strumień kosztów naprawy rurociągów w 2002 r., po uwzględnieniu prognozowanego wzrostu cen (1,15), wyniósł $\kappa_{sr}=1780$ zł/km·a.

– W wypadku armatury, ze względu na brak możliwości obliczeń, a zatem i prognozy intensywności jej uszkodzeń (ze względu na brak danych o ogólnej liczbie zainstalowanej armatury), wartość wskaźnika κ_{sa} można określić na podstawie prognozy liczby uszkodzeń (z uwzględnieniem rodzaju armatury i jej uszkodzeń), natomiast tam, gdzie koszty naprawy armatury stanowią niewielki udział w ogólnych kosztach naprawy przewodów, można założyć ich wartość. Przyjmując

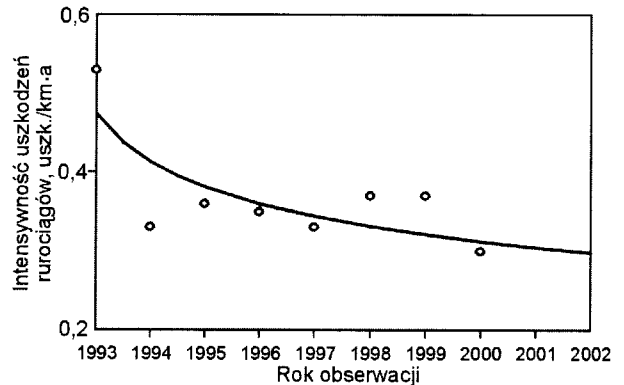
zatem, że dla Oleśnicy wartość wskaźnika κ_{sa} stanowiła średnio ok. 7% wartości wskaźnika κ_{sr} ([7] – tab. 2), prognozowany w 2002 r. strumień kosztów naprawy przewodów ogółem wyniósł $\kappa_s=1,07\kappa_{sr}=1,07\cdot 1780=1905$ zł/km·a.

Metoda II – prognoza kosztów naprawy z wykorzystaniem wskaźnika intensywności uszkodzeń (λ) i jednostkowych kosztów naprawy (K_n) przewodów ogółem:

– Określenie korelacji między ogólną intensywnością uszkodzeń rurociągów a rokiem obserwacji w latach 1993–2000 (rys. 5):

$$\lambda = 0,475(A - 1992)^{-0,2008} \quad (\alpha\approx 0,02) \quad (14)$$

z której w 2002 r. wartość wskaźnika $\lambda=0,299$ uszk./km·a.

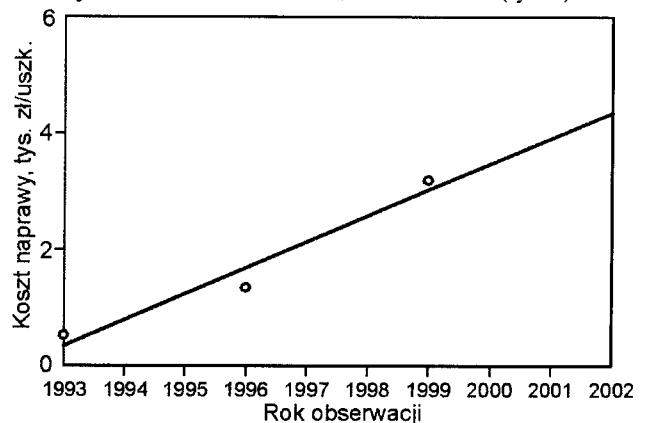


Rys. 5. Zmiana intensywności uszkodzeń rurociągów (λ) w Oleśnicy podczas obserwacji i prognoza do 2002 r.

– Określenie korelacji między średnim rocznym kosztem naprawy (K_n) jednego uszkodzenia rurociągu (niezależnie od rodzaju uszkodzenia), obliczonym z potrąceniem inflacji, a rokiem obserwacji:

$$K_n = 444,67(A - 1992) - 91,7 \quad (\alpha\approx 0,1) \quad (15)$$

z której w 2002 r. średni koszt $K_n=4355$ zł/uszk. (rys. 6).



Rys. 6. Średni koszt naprawy (z potrąceniem inflacji) jednego uszkodzenia rurociągów (K_n) w Oleśnicy podczas obserwacji i prognoza do 2002 r.

– Wskaźnik strumienia kosztów naprawy rurociągów wyniósł:

$$\kappa_{sr} = \lambda K_n = 0,299 \cdot 4355 = 1302 \text{ zł/km·a} \quad (16)$$

a z uwzględnieniem prognozy wzrostu cen otrzymano wartość $\kappa_{sr}=1,15\cdot 1302=1497$ zł/km·a.

– Wartość wskaźnika kosztów dla sieci ogółem przyjęto (jak w metodzie Ib) $\kappa_s=1,07\kappa_{sr}=1,07\cdot 1497=1602$ zł/km·a.

Tabela 2. Intensywność uszkodzeń (λ) i wskaźniki kosztów naprawy (κ , K) przewodów wodociągowych w Oleśnicy w 1996 r.

Średnica przewodu (d) mm	Długość przewodu (l) km	Jednostkowy koszt naprawy zł		Intensywność uszkodzeń uszk./km-a		Strumień kosztów naprawy zł/km-a			Całkowity roczny koszt naprawy zł/a		
		złącze (K_{nu})	pęknięcie (K_{np})	złącze (λ_u)	pęknięcie (λ_p)	złącze (κ_u)	pęknięcie (κ_p)	ogółem (κ_r)	złącze (K_u)	pęknięcie (K_p)	ogółem (K_r)
Rurociągi											
80	0,923	742	840	0	0	0	0	0	0	0	0
100	28,527	1037	1363	0	0,49	0	668	668	0	19056	19056
150	22,722	1775	2668	0,04	0,09	71	240	311	1613	5453	7066
200	6,062	2513	3973	0,33	0	829	0	829	5025	0	5025
300	3,330	3989	6584	0,30	0,60	1197	3950	5147	3986	13153	17139
400	2,153	5465	9196	0,46	0	2514	0	2514	5413	0	5413
500	1,860	6941	11805	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma	65,577	-	-	-	-	-	-	-	16037	37662	53699
Średnio w roku		3224	2095	0,076	0,274	245	574	819	-	-	-
Średni koszt naprawy uszkodzenia $K_n = 2340$ zł											
Armatura											
Rodzaj armatury	Jednostkowy koszt		Liczba szt.		Strumień kosztów naprawy (κ) zł/km-a			Całkowity koszt naprawy (K) zł/a			
	naprawa (K_N) zł	wymiana (K_W) zł	naprawa	wymiana	κ_N	κ_W	κ_a	K_N	K_W	K_a	
Zasuwa	1400	-	3	0	64	0	64	4200	0	4200	
Hydrant	1804	2082	2	1	55	32	87	3608	2082	5690	
Przewody ogółem											
$K_s = K_{sr} + K_{sa} = 819 + 151 = 970$ zł/km-a						$K_s = K_{sr} + K_{sa} = 53699 + 9890 = 63589$ zł					

Weryfikacji wymaga obecnie ocena intensywności uszkodzeń (λ) i jednostkowych kosztów naprawy (K_n). Błąd prognozy wskaźnika wzrostu cen (1,15), w porównaniu z wartością rzeczywistą (1,13), wyniósł niecałe 2%.

Podsumowanie

Uwzględniając pracochłonność obliczeń według zaproponowanych obydwu metod oraz błędy, jakimi obarczone mogą być prognozy wartości poszczególnych wskaźników, optymalna do wykorzystania w przedsięwzięciach wodociągowych – przy planowaniu środków finansowych na naprawę sieci – wydaje się być metoda Ia, która dotyczy szacowania wartości strumienia kosztów naprawy (κ_s) całej sieci wodociągowej lub jej wycinka.

LITERATURA

1. H. HOTŁOŚ, H. PEŁKA: Analiza kosztów renowacji i budowy przewodów sieci wodociągowej we Wrocławiu. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1996, tom 3, ss. 421–432.
2. E.W. MIELCARZEWICZ: Modernizacja sieci wodociągowych i kanalizacyjnych. Ochrona Środowiska, 1997, nr 2, ss. 3–8.

3. E.W. MIELCARZEWICZ, H. PEŁKA, H. HOTŁOŚ, Z. LEWICKI: Optymalne programowanie eksploatacji (renowacji) sieci wodociągowych ze względu na ich sprawność hydrauliczną i niezawodność działania. Raporty Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, seria SPR, nr 27, Wrocław 1993 (praca nie publikowana).
4. Z. SIWOŃ: Wybrane zagadnienia bieżącej eksploatacji miejskich sieci wodociągowych. Mat. konf. „Nowe materiały i urządzenia w wodociągach i kanalizacji”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce–Cedzyna 2003, ss. 11–24.
5. H. HOTŁOŚ, E. MIELCARZEWICZ: Badania wskaźników niezawodności sieci wodociągowych oraz ich wpływu na koszty eksploatacji sieci w wybranych miastach. Raporty Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, seria SPR, nr 70, Wrocław 1997 (praca nie publikowana).
6. H. HOTŁOŚ: Ograniczenie ciśnienia w sieci wodociągowej jako czynnik zmniejszający uszkadzalność i koszty napraw uszkodzeń przewodów. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1999, nr 5, ss. 180–184.
7. H. HOTŁOŚ: Analiza kosztów naprawy uszkodzeń przewodów wodociągowych we Wrocławiu. Ochrona Środowiska, 2005, nr 2, ss. 37–43.
8. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. GUS, Warszawa 1992–2004.

Hotłoś, H. Methods for Predicting the Costs of Water-Pipe Network Repair. *Ochrona Środowiska* 2006, Vol. 28, No. 1, pp. 49–54.

Abstract: Predictions of the repair costs for water-pipe networks require the knowledge of two major parameters: (1) the unit repair costs for a variety of pipe and plumbing fixture damage, and (2) the failure rate. Repair costs can be reliably predicted only if these parameters have been recorded and analyzed systematically for many years, and if the records include information about the type and size of the network elements, as well as about the kind of damage. The methods presented in this paper consist in determining the variations in the value of failure rate (λ) under in-service conditions, and in the value of unit costs of damage repair (K_n) during service. With such data, it is possible to determine the value of the damage

repair cost index (κ) per pipe unit length in unit time (λK_n) and the total annual cost of damage repair 2 to 4 years ahead. If the need arises, the repair cost can be predicted for a specified section of the pipeline, as well as for a certain part or the whole of the water-pipe network. Examples of relevant calculations for the prediction of damage repair cost are presented for the water-pipe networks of two Polish municipalities (Wrocław and Oleśnica). Knowing how to reliably predict the pipeline repair costs is of crucial practical importance to the planning of expenditure (several years in advance) on the repair of water-pipe networks and to an optimal decision-making about the operation and modernization of the network, with the inclusion of economic calculations.

Keywords: Water-pipe network, water distribution system, pipe failure, repair cost.