



Analiza kosztów materiałów użytych do usuwania awarii przewodów wodociągowych

Andrzej Studziński, Katarzyna Pietrucha-Urbanik
Politechnika Rzeszowska

1. Wstęp

Wodociągi należą do systemów technicznych, od których wymaga się wysokiej niezawodności działania (Rak 2009, Boryczko i in. 2014). W głównej mierze ciągłość dostawy wody do odbiorców jest wynikiem bezawaryjnej pracy sieci wodociągowej, stąd w przedsiębiorstwach wodociągowych kładzie się szczególny nacisk na sprawne usuwanie powstałych awarii (Iwanek i in. 2015, Królikowska 2011, Studziński i Woźniak 2015). Wymaga to utrzymywania ekip remontowych oraz stanów magazynowych części niezbędnych do przeprowadzenia napraw. Wiąże się to z zapewnieniem środków finansowych, które przeznaczone zostaną na pokrycie kosztów napraw (Pietrucha-Urbanik i Studziński 2016, Studziński 2016). Analiza uszkodzeń oraz związanych z tym kosztów jest ważnym aspektem w codziennej eksploatacji systemów wodociągowych, składnik kosztowy jest wskazywany w licznych opracowaniach (Kutyłowska i Hotłoś 2014, Zimoch i Szymik-Gralewska 2016, Pietrucha-Urbanik 2016, Tchórzewska-Cieślak i in. 2016, Valis i in. 2014, Rak i Boryczko 2017).

Wśród kosztów usuwania awarii przewodów znaczącym składnikiem są koszty materiałów wykorzystanych do naprawy awarii. Celem niniejszej pracy jest analiza tych kosztów w jednym z zakładów wodociągowych południowo-wschodniej Polski, podstawą opracowania są dane eksploatacyjne zebrane podczas awarii przewodów. Zaprezentowano dane w podziale na materiał i średnicę przewodów dla średnic nominalnych z zakresu 25-800 mm.

2. Opis i metodyka badań

Badania prowadzono na systemie zaopatrzenia w wodę średniej wielkości miasta zlokalizowanego w południowej Polsce. Wodociąg zaopatruje w wodę ponad 100 tys. mieszkańców miasta oraz sąsiednich miejscowości. Sieć wodociągowa ma długość przekraczającą 1000 km, 5,9% długości stanowiły przewody magistralne, 53,3% przewody rozdzielcze natomiast 40,8% długości miały podłączenia wodociągowe (stan na koniec 2015 roku). W strukturze materiałowej dominowały przewody polietylenowe 57,4% oraz przewody wykonane z żeliwa szarego – 22,5%, pozostałe materiały miały następujący udział w długości sieci: stal 8,6%, PCV 7,9%, azbestocement AC 3,3% oraz żeliwo sferoidalne 0,3%. Wiek najstarszych eksploatowanych przewodów wodociągowych przekraczał 100 lat. Niezawodność przewodów wodociągowych mierzona wskaźnikiem intensywności uszkodzeń wykazywała wartości niższe niż zalecane literaturowo (Herbert 1994), wynosiła dla przewodów ogółem $0,31 \text{ km}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Sposób przeprowadzenia badań przedstawiono w (Studziński i Pietrucha-Urbanik 2017), prowadzono je notując dane na opracowanych kartach awarii wypełnianych przez pracowników przedsiębiorstwa wodociągowego. Zawierały one informacje dotyczące awarii (czas, miejsce, dane dotyczące przewodu jak wiek, materiał czy średnica, skutki awarii, zakres działań niezbędnych do naprawy, użyty sprzęt oraz wyszczególnione materiały). Badania prowadzono w latach 2014-2015.

Koszt materiałów wyliczono mnożąc ich zużycie przez ich koszt jednostkowy ustalany przez zakład wodociągowy na podstawie cen ich zakupu w 2015 roku.

3. Struktura awarii

Dane eksploatacyjne z awarii rurociągów w badanym wodociągu zamieszczono w tabeli 1. Łącznie odnotowano 302 awarie, z czego 298 przedstawionych poniżej dotyczyło przewodów wodociągowych, zaledwie w 4 przypadkach naprawiano armaturę. Procentowy udział awarii poszczególnych rodzajów przewodów wodociągowych był następujący: na przewodach magistralnych odnotowano 7,4% awarii, na przewodach rozdzielczych 31,7%, na przyłączach wodociągowych 59,6%, pozostałe 1,3% stanowiły awarie armatury.

Tabela 1. Zestawienie awarii

Table 1. Summary of failure

DN [mm]	Liczba awarii [-]	Liczba awarii dla poszczególnych materiałów					
		PE	PCV	Stal	Żel. sz.	Żel. sf.	AC
25	143	132	–	11	–	–	–
32	22	19	–	3	–	–	–
40	2	–	–	2	–	–	–
50	8	5	–	2	1	–	–
65	3	2	–	1	–	–	–
80	47	2	5	3	33	–	4
100	28	3	6	1	13	–	5
125	1	–	–	–	1	–	–
150	16	3	6	–	6	1	–
200	5	–	4	1	–	–	–
250	3	3	–	–	–	–	–
300	4	–	1	–	2	–	1
400	7	2	–	1	4	–	–
450	3	2	–	–	–	1	–
500	2	–	–	–	2	–	–
600	3	–	–	3	–	–	–
800	1	–	–	–	1	–	–

Przewody pogrupowano dla ich średnic nominalnych (DN) w odniesieniu do średnicy wewnętrznej zgodnie z (Płuciennik i Wibik 2001). Zaobserwowano zwiększoną liczbę awarii dla przewodów mających największy udział w długości sieci wodociągowej – dla przyłączy wodociągowych 25 i 32 mm, oraz dla przewodów rozdzielczych 80 i 100 mm (Kwietniewski i Rak 2010), średnice przyłączy są typowe dla budynków jednorodzinnych, natomiast średnice przewodów rozdzielczych wynikają z przepisów przeciwpożarowych – zalecanych do stosowania hydrantów oraz z minimalnych średnic przewodów, na których instaluje się hydranty (Dz. U. 2009, nr 124, poz. 1030). Typowy jest również udział poszczególnych materiałów budujących sieć wodociągową – PE i stal w przypadku połączeń wodociągowych, wszystkie materiały dla przewodów rozdzielczych i magistral mniejszych średnic oraz stal i żeliwo szare dla magistral największych średnic – co w ostatnim przypadku wynika z ich wieku.

4. Koszty materiałów

W tabeli 2 pokazano łączne koszty w podziale na funkcję przewodu oraz ich udział w kosztach całkowitych. W przypadku naprawy w pasie drogowym, gdzie istniała konieczność uzyskania wysokiego stopnia zagęszczenia, koszty są wyższe niż w przypadku awarii poza pasem drogowym, co wynika z konieczności wymiany całego gruntu w wykopie. Zwraca uwagę rosnący koszt materiałów wraz ze wzrostem średnic przewodów, wartości największe dotyczą magistral o zakresie średnic nominalnych DN 200-800 mm, niższy dla rurociągów rozdzielczych o średnicach 80-200 mm, a najniższy dla przyłączy wodociągowych. Przedstawioną relację należy tłumaczyć właśnie średnicami przewodów, a nie pełnią przez nie funkcją.

Zauważalnie wzrastają koszty w przypadku konieczności wymiany gruntu. W przypadku przewodów rozdzielczych oraz przyłączy wodociągowych koszt kruszyw stanowi ponad 30% kosztów materiałów, natomiast dla rurociągów magistralnych prawie 20%.

Tabela 2. Koszty materiałów w podziale na funkcję przewodu
Table 2. Cost of materials in division to pipe function

Element wodociągu	Łączny koszt materiałów [zł]	Łączny koszt materiałów (bez kruszyw) [zł]	Średni koszt na awarię [zł]	Średni koszt na awarię (bez kruszyw) [zł]	Wartość procentowa [%]
Przewody magistralne	44539	31725	1856	1495	28,5%
Przewody rozdzielcze	64230	44082	669	459	41,0%
Przyłącza wodociągowe	47721	35870	268	178	30,5%

Tabela 3 zawiera zestawienie kosztów materiałów (uwzględniających materiały mineralne) dla poszczególnych materiałów przewodów. W przypadku żeliwa sferoidalnego odnotowano tylko 2 awarie, dlatego

udział tego materiału w kosztach całkowitych jest znikomy, a kosztu jednostkowego nie można uważać za miarodajny.

Omawiając uzyskane wyniki można stwierdzić, że znikome są różnice pomiędzy awariami przewodów stalowych i polietylenowych, co wynika z tego, że większość awarii na tych przewodach (odpowiednio 68 i 91%) dotyczy przyłączy wodociągowych, czyli przewodów o najmniejszych średnicach.

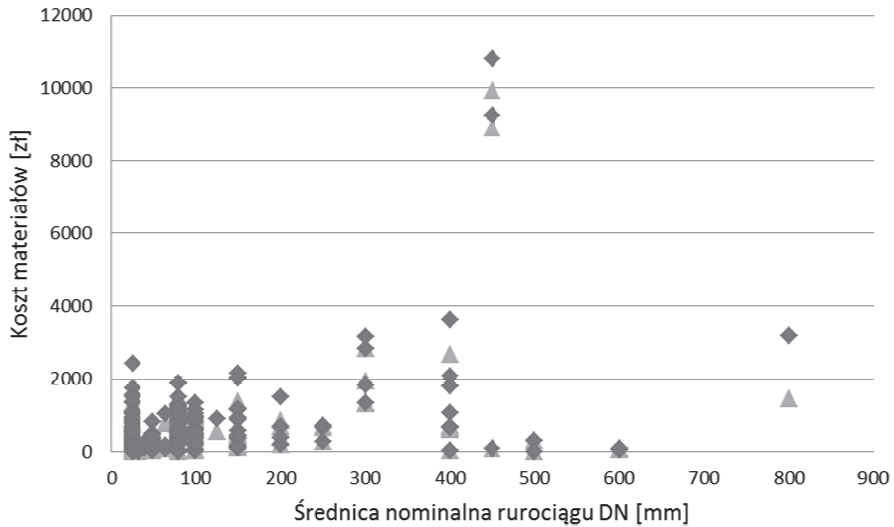
W przypadku PCV średni koszt materiałów jest wyższy o około 100 zł, co wynika z większych średnic – za wyjątkiem jednej awarii dotyczącej przewodów rozdzielczych. Znacząco wyższe koszty dotyczą przewodów azbestowo-cementowych, mimo że dotyczą one również przewodów rozdzielczych. W tym przypadku średnią cenę podnoszą stosowane każdorazowo do naprawy nasuwki pełne.

Tabela 3. Koszty materiałów w podziale na materiał przewodu

Table 3. Costs of materials into the material of the conduit

Materiał	Liczba awarii [-]	Całkowity koszt materiałów [zł]	Średni koszt na awarię [zł]
AC	10	11059	1106
PVC	23	11349	493
PE	173	70484	407
Stal	28	10619	379
Żeliwo szare	63	50041	794
Żeliwo sferoidalne	2	442	221

Rysunek 1 obrazuje uzyskane wyniki. Liczebność awarii dla poszczególnych średnic w podziale na materiał przewodu zawarto w tabeli 1. Zauważa się 2 awarie dla DN 450 mm, których koszty wynoszą około 10000 zł, w tym zastosowane systemy kołnierzone stanowiły około 9000 zł. W obu przypadkach konieczna była wymiana gruntu.



Rys. 1. Koszty materiałów w zależności od średnicy przewodu, ◆ – koszty materiałów wraz z kruszywami, ▲ – koszty materiałów pomniejszone o koszt kruszyw

Fig. 1. Material cost depending on pipe diameter, ◆ – cost of material together with aggregates, ▲ – cost of material without aggregate cost

W tabeli 4 zawarto średnie koszty osuwania awarii w podziale na materiał i średnice z uwzględnieniem kosztów kruszyw. Zauważa się liczebność awarii dla poszczególnych materiałów, która odpowiada zakresowi ich stosowania. Dlatego przewody stalowe i polietylenowe występują praktycznie w całym zakresie stosowanych średnic, natomiast przewodów z żeliwa szarego nie stosowano do budowy przyłączy wodociągowych. Przewody PCV oraz AC występują tylko jako rozdzielcze i mniejsze średnice magistral. Można zauważyć rosnące koszty usuwania awarii wraz ze wzrostem średnicy dla każdego z materiałów, co potwierdza wcześniejsze badania zarówno w odniesieniu do robocizny (Studziński 2013, Studziński i Pietrucha-Urbanik 2017), jak i kosztów całkowitych (Hotłoś 2007). Porównanie kosztów dla poszczególnych materiałów wskazuje, że istotny jest raczej rodzaj uszkodzenia i sposób naprawy, niż materiał przewodu. Obserwuje się tendencję wzrostową kosztów (wyrażoną dla PCV i żeliwa szarego) wraz ze wzrostem średnicy naprawianego przewodu. Znikoma liczba zdarzeń dla średnic odpowiadających przewodom magistralnym może fałszować ten obraz.

Tabela 4. Średni koszt robocizny związany z naprawą przewodu,

L. – liczba awarii, K. – koszt [zł]

Table 4. Average labor cost associated with pipe repair,

L. – number of failures, K. – cost [zł]

DN [mm]	Stal		PE		Żeliwo szare		PCV		AC		Żeliwo sf.	
	L.	K.	L.	K.	L.	K.	L.	K.	L.	K.	L.	K.
25	11	603	132	265	0	–	0	–	0	–	0	–
32	3	132	19	52	0	–	0	–	0	–	0	–
40	2	178	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–
50	2	486	5	340	1	383	0	–	0	–	0	–
65	1	177	2	568	0	–	0	–	0	–	0	–
80	3	320	2	489	33	777	5	263	4	1095	0	–
100	1	214	3	203	13	696	6	230	5	973	0	–
125	0	–	0	–	1	894	0	–	0	–	0	–
150	0	–	3	904	6	843	6	504	0	–	1	354
200	1	692	0	–	0	–	5	698	0	–	0	–
250	0	–	3	542	0	–	0	–	0	–	0	–
300	0	–	0	–	2	2240	1	2835	1	1815	0	–
400	1	40	2	2856	4	1053	0	–	0	–	0	–
450	0	–	2	10021	0	–	0	–	0	–	1	88
500	0	–	0	–	2	161	0	–	0	–	0	–
600	3	60	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–
800	0	–	0	–	1	3188	0	–	0	–	0	–

W przypadku awarii na przewodach DN 500 mm dwa zanotowane przypadki dotyczyły awarii w komorach wodociągowych, pierwsza z nich polegała na wymianie uszczelnienia zasuw (koszt 21 zł) a druga uszczelnienia kompensatora, zastosowano sznur uszczelniający, którego wartość wyniosła 300 zł. Awarie na przewodach stalowych DN 600 dotyczyły usunięcia wycieków powstałych na skutek korozji – naprawa polegała na przyspawaniu łąty blaszanej oraz zastosowaniu 2 opasek termokurczliwych (łącznie 83 zł) w pierwszym przypadku, podobnie druga i trzecia awaria (blacha i opaska łącznie 49 zł dla każdej awarii). We wszystkich przypadkach rurociąg zlokalizowany był w terenie zielonym. Wszystkie trzy awarie wskazują na wady materiałowe lub punktowe ubytki izolacji.

Tabela 5. Średni koszt materiału związany z naprawą przewodu
Table 5. The average cost of material associated with the pipe repair

DN [mm]	Koszt materiałów z uwzględnieniem kruszyw		Koszt materiałów bez kruszyw	
	Mediana [zł]	Wartość średnia [zł]	Mediana [zł]	Wartość średnia [zł]
25	74	291	55	189
32	22	63	22	57
40	178	178	88	88
50	358	582	304	281
65	177	437	177	343
80	626	708	418	461
100	536	576	361	437
125	894	894	557	557
150	450	697	401	467
200	692	697	692	566
250	654	542	654	542
300	2325	2282	1626	1847
400	1069	1423	649	859
450	9253	6710	8887	6298
500	161	161	161	161
600	49	60	49	60
800	3188	3188	1442	1442

Porównując dane zawarte w tabeli 5 można zauważyć, że w przypadku średnic, dla których notuje się co najmniej 7 awarii zauważa się przewagę wartości średniej kosztów nad medianą, co świadczy o występowaniu zdarzeń, dla których koszty materiałów znacznie przekraczają wartości przeciętne i w ten sposób zawyżają średnią.

Dla całego zakresu średnic nie uzyskano wiarygodnego odwzorowania funkcyjnego kosztów od średnicy nominalnej, natomiast dla średnic DN 25-200 mm otrzymano zależność średniego kosztu materiałów k [zł] w funkcji średnicy nominalnej DN [mm] w postaci:

$$k = 317,15 \ln(DN) - 838,28 \quad (1)$$

Ze współczynnikiem determinacji $R^2 = 0,68$. W przypadku kosztów materiałów bez kruszyw dla średnic nominalnych 25-200 mm zależność przyjmuje postać ($R^2 = 0,84$):

$$k = 245,51 \ln(DN) - 700,88 \quad (2)$$

5. Podsumowanie i wnioski

W 2015 roku przedsiębiorstwo wodociągowe wydało prawie 157 tys. zł na materiały stosowane do naprawy przewodów wodociągowych. Średni koszt materiałów zawierający koszt kruszyw użytych do wypełnienia wykopu wyniósł 517 zł (poziom cen 2015 rok). W tej kwocie średnio 150 zł stanowi koszt kruszyw. Łącznie kruszywa kosztowały prawie 45 tys. zł i zostały użyte w 47% awarii, co daje średnio 320 zł na awarię w przypadku wymiany wypełnienia wykopu.

Na podstawie przedstawionych danych można stwierdzić, że koszty materiałów wykazują znaczące zróżnicowanie. W przeciwieństwie do kosztów robocizny, zarówno dla innych sieci wodociągowych (Studziński 2013, 2014), jak i w badanym wodociągu (Studziński i Pietrucha-Urbanik 2017), które wyraźnie wzrastają wraz ze zwiększaniem się średnicy nominalnej rur, analizowane koszty materiałów nie wykazują tak wyraźnej zależności. Jest to wynikiem w głównej mierze znikomej liczebności awarii na przewodach największych średnic, co z kolei wynika z niewielkiego ich udziału w całkowitej długości sieci wodociągowej (około 5% długości sieci). Dla tych przewodów obserwuje się również największy rozrzut wyników.

Wyraźne jest zróżnicowanie kosztów dla trzech grup przewodów wynikających z ich funkcji, dla przyłączy wodociągowych 268 zł, rozdzielczych 669 zł a dla magistral 1856 zł. Zaobserwowane różnice wynikają głównie ze średnic tych przewodów, można zatem stwierdzić, że wraz ze wzrostem średnicy przeciętny koszt materiałów wzrasta.

Wykazano również zmienność kosztów w funkcji materiału przewodów, od 221 zł dla żeliwa sferoidalnego do 1106 zł dla przewodów azbestowo-cementowych, wynika to nie tylko z technologii naprawy oraz zastosowanych części, ale również wpływa na to średnica przewodu – przewody AC czy żeliwne stosowane są dla przewodów rozdzielczych i mniejszych magistral, a w konsekwencji charakteryzują się większymi średnicami niż np. przewody z PE.

Porównując koszty materiałów z kosztami robocizny można stwierdzić, że dla badanego systemu zaopatrzenia w wodę są one przeciętnie prawie o 300 zł niższe (koszt robocizny dla awarii w 2015 roku 800 zł (Studziński i Pietrucha-Urbanik 2017)). Z uwagi na niewielką liczbę awarii, zwłaszcza w przypadku przewodów o średnicy DN 250 mm i większej konieczne jest kontynuowanie prowadzonych badań.

Przedstawione dane są składową ryzyka eksploatatora systemu zaopatrzenia w wodę, poszerzone o koszty sprzętu mogą znaleźć zastosowanie w planowaniu kosztów eksploatacji systemów wodociągowych.

Literatura

- Boryczko, K., Piegdoń, I. i Eid, M. (2014). Collective water supply systems risk analysis model by means of RENO software. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*, Taylor i Francis Group, London, 1987-1992.
- Herbert, H. (1994). Technical and economic criteria determining the rehabilitation and for renewal of drinking water pipelines. *Proceedings of IWSA Regional Conference*, Zurich, 111-123.
- Hotłoś, H. (2007). *Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacji sieci wodociągowych*. Wrocław: Politechnika Wroclawska.
- Iwanek, M., Kowalska, B., Kowalski, D., Kwietniewski, M., Misztal-Kruk, K., Mikołajuk, P. (2015). Wpływ różnych czynników na awaryjność sieci wodociągowej w układzie przestrzennym – studium przypadku. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*. JCEEA, 62, 167-183. DOI: 10.7862/rb.2015.12.
- Królikowska, J. (2011). Application of PHA Method for Assessing Risk of Failure on the Example of Sewage System in the City of Krakow. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13(1), 693-710.
- Kutyłowska, M. i Hotłoś, H. (2014). Failure analysis of water supply system in the Polish city of Glogow. *Engineering Failure Analysis*, 41, 23-29.
- Kwietniewski, M., i Rak, J. (2010). *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*. Warszawa: Polska Akademia Nauk.
- Pietrucha-Urbanik, K. i Studziński, A. (2016). Wybrane aspekty kosztów oraz awaryjności przewodów przykładowego systemu wodociągowego. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18, 623-634.
- Pietrucha-Urbanik, K. (2016). Assessing the Costs of Losses Incurred as a Result of Failure, Eds.: Zamojski W., Mazurkiewicz J. i Sugier J. in: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 470, 355-362. DOI: 10.1007/978-3-319-39639-2_31

- Płuciennik, S. i Wibik, J. (2001). *Warunki techniczne wykonania i odbioru sieci wodociągowych*. Warszawa: COBRTI Instal.
- Rak, J. i Boryczko, K. (2017). Assessment of water supply diversification using the Pielou index. *Environmental Engineering V*, 53-58. Leiden: CRC Press-Balkema.
- Rak, J. (2009). *Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę*. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych, Dz. U. 2009, nr 124, poz. 1030.
- Studziński, A. i Pietrucha-Urbanik, K. (2017). Analiza kosztów robocizny usuwania awarii sieci wodociągowych. *Technologia Wody*, 1, 24-28.
- Studziński, A. i Woźniak, K. I. (2015). Straty wynikające z braku dostawy wody w opinii jej konsumentów. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture. JCEEA*, 62, 437-445. DOI: 10.7862/rb.2015.127
- Studziński, A. (2013). Pracochłonność naprawy przewodów wodociągowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 6, 226-228.
- Studziński, A. (2014). Amount of labour of water conduit repair. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*, (pod red.) R.D.J.M. Steenbergen, P.H.A.J.M. Van Gelder, S. Miraglia, A.C.W.M. Vrouwenvelder, London, 2081-2084.
- Studziński, A. (2016). Ocena kosztów zakładów wodociągowych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture. JCEEA*, 63, 523-529.
- Tchórzewska-Cieślak, B., Pietrucha-Urbanik, K. i Urbanik, M. (2016). Analysis of the gas network failure prediction using the Monte Carlo simulation method. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 18, 254-259. DOI: 10.17531/ein.2016.2.13
- Valis, D., Zak, L. i Walek, A. (2014). Selected mathematical functions used for operation data information. In: *Safety, Reliability and Risk Analysis*, 1303-1308. Boca Raton: CRC Press-Taylor i Francis Group.
- Zimoch, I. i Szymik-Gralewska, J. (2016). Assessment of the reliability-cost efficiency of the pumping subsystems at water treatment plant. *Ecological Chemistry and Engineering S – Chemia i Inżynieria Ekologiczna S*, 23, 435-445.

Analysis of Material Costs Used for Failure Removal of Water Supply Networks

Abstract

Costs of pipe failure removal cables can be separated into the cost of materials, equipment and labor. The paper concerns the analysis of material costs associated with failure removal of water supply pipelines. The basis of the work constitutes operational data collected during the removal of 302 failures on pipes in city with a population exceeding 100 thousand. The dependence of material costs and the pipe diameter, which grow with increasing diameter, is noted. Cost diversification is also the result of the location of the pipe – where a high degree of soil compaction is required, the exchange is performed, resulting in material costs increase, so the pipes in the lane are characterized by higher material costs. In the analyzed water supply system average cost of materials used to repair the failure amounted to 517 zł (price level for 2015 years) and was lower than labor costs, which amounted to 800 zł. In 47% of the failure it was necessary to use aggregates, which on average increased the cost of materials in this case by 320 zł.

Streszczenie

Koszty usuwania awarii przewodów można rozdzielić na koszty materiałów, sprzętu oraz robocizny. Opracowanie dotyczy analizy kosztów materiałów związanych z usuwaniem awarii rurociągów wodociągowych. Podstawą pracy są dane eksploatacyjne zebrane podczas usuwania 302 awarii przewodów w mieście o liczbie mieszkańców przekraczającej 100 tys. Zauważono zależność kosztów materiałów od średnicy oraz materiału przewodu, które rosną wraz ze wzrostem średnicy. Zróżnicowanie kosztów jest również wynikiem lokalizacji przewodu – tam gdzie wymagany jest wysoki stopień zagęszczenia gruntu przeprowadza się jego wymianę, co skutkuje wzrostem kosztów materiałów, przewody prowadzone w pasie drogowym charakteryzuje więc wyższy koszt materiałów. W badanym systemie zaopatrzenia w wodę średni koszt materiałów użytych do naprawy awarii wyniósł 517 zł (poziom cen 2015 rok), był niższy od kosztów robocizny, które wyniosły 800 zł. W 47% awarii konieczne było zastosowanie kruszyw, co przeciętnie podniosło koszt materiałów w tym przypadku o 320 zł.

Słowa kluczowe:

sieć wodociągowa, awaryjność, koszty usuwania awarii, materiały

Keywords:

water network, failure, cost of failure removal, materials