

**Abstract**

It's common to find petroleum substances, especially polycyclic aromatic hydrocarbons, in the sewer or haw waters of the urban environment. These polluted waters flows directly to the urban sewer system in the form of a wastewater. Examination of such events has been carried out in the Pommerskie Voivodeship. In order to limit the polluted surface and rain water flow to the salmon river, twelve oil separators has been deployed around the city. First phase consisted of four such deployments. The separators were designed to filter the rain and surface waters. The following efficiency evaluation showed that according to polish law, in any case the BTEX end CH (C7 – C11) limits has not been reached.

**Literatura**

- [1] Dojlido J., Taboryska B., Wojciechowska J.: Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska „Przeгляд metod oznaczania związków ropopochodnych w wodzie, ściekach, glebie i odpadach” Biblioteka Monitoringu Środowiska, 1999.
- [2] Włodarczyk-Makula: „Zmiany ilościowe WWA w ściekach oczyszczonych podczas utleniania” Rocznik Ochrona Środowiska Tom 13, str. 1093 – 1104, 2011.
- [3] Gajewska M., Kopeć Ł., Obarska-Pempkowiak H.: Operation of Small Wastewater Treatment facilities in a Scattered Settlement” Rocznik Ochrona Środowiska Tom 13, Część I, str 207 – 225, 2011.
- [4] „Kompleksowy program ochrony wód rzeki Słupi przed zanieczyszczeniami pochodzącymi z wód opadowych i roztopowych ze zlewni miasta Słupska. Budowa stacji podczyszczania wód opadowych i roztopowych”, projekt budowlany, Gazda – biuro inżynierskie, kwiecień 2004.

- [5] Siebielska I., Szymański K.: Wpływ pracy separatorów na usuwanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) z wód opadowych i roztopowych. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 15, str. 749 – 765, 2013.
- [6] CEC, Council of the European Community, Working Document on Sludge, 3rd Draft, Brussels, 27 April, 20p, 2000.
- [7] Haritash A. K., Kaushik C. P., „Biodegradation aspect of polycyclic Aromatic hydrocarbons (PAHs): A review” Journal of Hazardous Materials Nr 169, str. 1 – 15, 2009.
- [8] PN-89/C-04641/04 „Badania zawartości węglowodorów aromatycznych, oznaczanie benzenu, toluenu, (m + p) ksyleny, o – ksyleny, styrenu metoda chromatografii gazowej z zastosowaniem techniki analizowania fazy gazowej nad próbką”.
- [9] Analysis of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons Using Pressure – Pulsed Splitless Injection Application Note 228 – 224, Hewlett Packard, Environmental Analysis March 1993.

dr inż. Danuta Usidus\*  
mgr inż. Izabela Pacyna\*

## Awaryjność kołobrzесьkiego systemu wodociągowego

### *Unreliability of Kołobrzeg water supply system*

**G**łównym celem działania systemu wodociągowego jest dostarczenie wody do odbiorców, w ilości umożliwiającej pokrycie wszystkich potrzeb bytowych, gospodarczych i przeciwpożarowych. Dostawa wody powinna odbywać się pod odpowiednim ciśnieniem w sposób ciągły. Woda trafiająca do odbiorców musi spełniać również określone wymagania jakościowe stawiane przez Rozporządzenie Ministra Zdrowia [1]. Podstawą prawidłowej pracy systemu wodociągowego jest jego niezawodność, która polega na prawidłowej pracy każdego z elementów składowych, zarówno odpowiedzialnych za ujmowanie wody, jej uzdatnienie, gromadzenie w zbiornikach, przesyłanie, jak i dystrybucję. Najbardziej kosztownym w eksploatacji jest podsystem dystrybucji wody, którego podstawowym elementem jest sieć wodociągowa z uzbrojeniem [2]. Istotne jest więc prowadzenie badań nad stanem technicznym sieci.

Analiza danych eksploatacyjnych, takich jak: liczba powstałych uszkodzeń, ich rodzaj, czas trwania i przyczyny, pozwala nie tylko określić stan techniczny sieci, ale również umożliwia zaplanowanie jej modernizacji [2], dzięki czemu system wodociągowy pozostaje niezawodny i może spełniać swoje podstawowe funkcje. Ponadto obniża się w ten sposób również koszty związane z nagłymi naprawami (materiały użyte do naprawy, sprzęt budowlany, zajęcie pasa drogowego i pieniądze związane z indywidualną rekompensa-

cją za powstałe straty materialne). Można uniknąć również dużych strat wody, które towarzyszą nagłym uszkodzeniom sieci [3].

**Wodociągi kołobrzесьkie**

Głównym źródłem wody dla Kołobrzegu i miejscowości ościennych jest ujęcie wód podziemnych „Bogucino-Rościęcino”, znajdujące się w odległości ok. 8 km na południe od Kołobrzegu. Składa się ono z dwóch barier studni wierconych zlokalizowanych po przeciwległych brzegach rzeki Parsęty. Przewody tranzytowe dostarczające wodę do miasta to: w przypadku ujęcia „Bogucino” DN/ID 800 mm, natomiast z ujęcia „Rościęcino” woda tłoczona jest dwoma przewodami DN/ID 300 mm i DN/ID 500 mm. Pompownie w Bogucinie i Rościęcinie połączone są rurociągiem DN/ID 500 od strony południowej oraz rurociągiem DN/ID 350 mm od strony północnej. Połączenie to zapewnia stały dopływ wody do miasta w przypadku awarii jednej z magistrali. Jednocześnie umożliwia wyrównanie ciśnień i przepływów w sieci [4].

Sieć wodociągowa w Kołobrzegu jest siecią pierścieniową. Miejscowości po stronie lewobrzeżnej, należące do gminy Kołobrzeg, zasilane są z magistrali miejskiej średnicy 300 mm. Przewodem tym woda doprowadzana jest do zbiornika retencyjno-wyrównawczego znajdującego się w miejscowości Grzybowo, a następnie kierowana przez pompownię strefową do sieci pierścieniowej i rozgałęźnej, stanowiącej zasilanie dla miejscowości satelitarnych. Praca zbiornika w Grzybowie jest sezonowa. W okresie letnim zbiornik i pompownia pracują i zasilają okoliczne miejscowości.

\* Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych

## 45 LAT WYDZIAŁU INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I GEODEZJI

W okresie zimowym, ze względu na mniejsze zapotrzebowanie na wodę, zbiornik wraz z pompownią wyłączany jest z eksploatacji, a woda dostarczana jest bezpośrednio z sieci o średnicy 300 mm.

W 2011 r. długość przewodów wodociagowych, będących pod zarządem MWiK Sp. z o.o. w Kołobrzegu, wynosiła 392,8 km, w tym długość magistrali to 25,8 km, sieci rozdzielczej 308,2 km i przyłączy 58,8 km. Do sieci wodociagowej podłączonych było 7229 odbiorców, co dało średnią długość przyłącza przypadającą na jednego odbiorcę równą 8,1 m.

### Intensywność uszkodzeń sieci wodociagowej

Przeprowadzona analiza awaryjności systemu wodociagowego obejmuje obszar miasta Kołobrzeg oraz gminy wiejskiej Kołobrzeg, i dotyczy lat 2007 – 2011. MWiK Sp. z o.o. w Kołobrzegu rejestruje liczbę awarii w poszczególnych miesiącach, dokonując podziału na średnicę oraz rodzaj materiału, z którego wykonany jest przewód w miejscu uszkodzenia. Zapisywane są również informacje dotyczące rodzaju uszkodzenia i szacunkowe wielkości strat wody powstałych w wyniku zaistniałej awarii. Podziału na przewody magistralne, rozdzielcze i przyłącza dokonano na podstawie ich średnic. Przyjęto jako przyłącza przewody średnicy do 80 mm, przewody rozdzielcze to rurociągi średnicy od 80 do 300 mm, a magistrale to przewody powyżej 300 mm. Ze względu na obecność na obszarze miasta Kołobrzeg dużych obiektów hotelowo-uzdrowiskowych możliwe jest jednak, że przyłącza w niektórych przypadkach mają średnicę większą niż 80 mm, a zostały zakwalifikowane jako sieć rozdzielcza.

W latach 2001 – 2011 na obszarze miasta i gminy Kołobrzeg, MWiK Sp. z o.o. odnotowała 746 uszkodzeń sieci wodociagowej (w tym armatury). Średnio dało to 149 uszkodzeń w roku i ok. 12 awarii w miesiącu. Dane eksploatacyjne dotyczące liczby awarii pozwalają na wyznaczenie wskaźnika jednostkowej intensywności uszkodzeń sieci, a wartość tego wskaźnika określa liczbę uszkodzeń przypadających na jednostkę długości przewodu w określonym czasie i wyraża się wzorem [5]:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t}$$

gdzie:

$\lambda(\Delta t)$  – jednostkowa intensywność uszkodzeń [ $\text{uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ];

$n(\Delta t)$  – liczba uszkodzeń w określonym czasie [ $\text{uszk} \cdot \text{a}^{-1}$ ];

$L$  – długość przewodów [km];

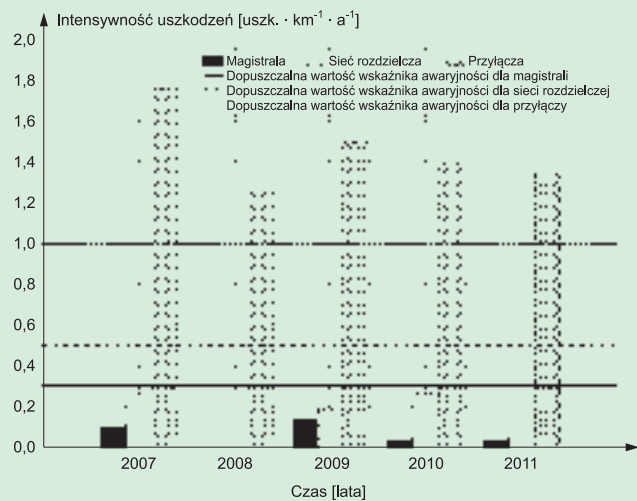
$\Delta t$  – analizowany przedział czasu [rok].

Zastosowanie wskaźnika intensywności uszkodzeń umożliwia porównanie awaryjności kołobrzegskiego systemu wodociagowego z dostępnymi danymi literaturowymi. Zalecane wartości graniczne wskaźnika intensywności uszkodzeń poszczególnych rodzajów przewodów wynoszą [5] w przypadku:

- magistrali:  $\lambda_M \leq 0,3 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ;
- przewodów rozdzielczych:  $\lambda_R \leq 0,5 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ;
- przyłączy wodociagowych:  $\lambda_P \leq 1 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ .

W badanym okresie (rysunek 1) najmniejsza liczba awarii wystąpiła na magistrali. Średnia intensywność uszko-

żeń wyniosła jedynie  $0,06 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  i stanowiła tym samym pięciokrotnie niższą wartość od dopuszczalnej. Intensywność uszkodzeń przewodów rozdzielczych wyniosła  $0,16 - 0,27 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ; średnia awaryjność wyniosła  $0,22 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  i była o 56% niższa od wartości dopuszczalnej. W latach 2007 – 2011 największą awaryjnością, przekraczającą dopuszczalne wartości, charakteryzowały się przyłącza. Intensywność ich uszkodzeń zmieniała się od  $1,26$  do  $1,76 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , przy średniej wynoszącej  $1,45 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Tym samym, w analizowanym okresie, dopuszczalna wartość została przekroczona o 45%.

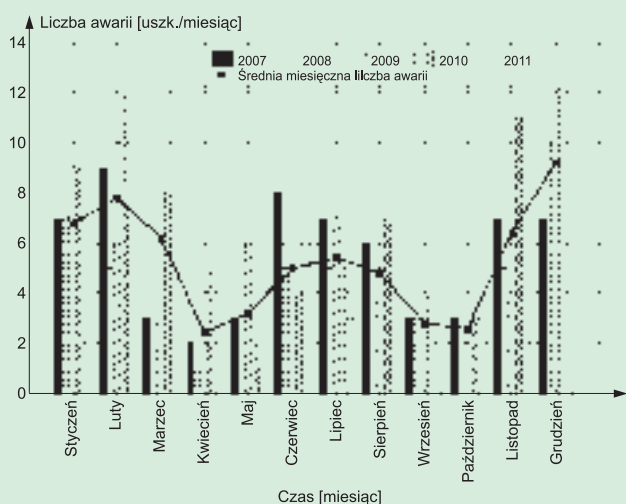


Rys. 1. Intensywność uszkodzeń magistrali, sieci rozdzielczej i przyłączy w latach 2007 – 2011

Średnia wartość intensywności uszkodzeń całego systemu dystrybucji wody wyniosła w analizowanym okresie  $0,41 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  i mieściła się w przedziale  $0,1 \leq \lambda \leq 0,5$ , co pozwoliło, zgodnie z klasyfikacją [6], ocenić przewody wodociagowe jako średnio awaryjne.

**Badania i analizy** przeprowadzone w wielu ośrodkach [2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] wykazały duży wpływ zmiany pór roku na wzrost awaryjności sieci, co związane jest przede wszystkim z sezonowymi zmianami temperatury gruntu i wody w przewodach. **Odnotowuje się wzrost liczby awarii w okresie jesienno-zimowym oraz na przełomie zimy i wiosny.** Taka sytuacja spowodowana jest głównie temperaturą gruntu. Analiza awaryjności sieci rozdzielczej w Kołobrzegu w poszczególnych miesiącach (rysunek 2) potwierdza, że jest ona wzmożona w okresie jesienno-zimowym. W latach 2007 – 2011 aż 58% wszystkich awarii miało miejsce w okresie od listopada do marca i średnia ich liczba w tych miesiącach wyniosła 7 uszk./miesiąc. W pozostałym okresie średnia liczba awarii wyniosła 4 uszk./miesiąc. Najwięcej awarii miało miejsce w grudniu (9 uszkodzeń), a najmniej w kwietniu (2 uszkodzenia).

Prace badawcze wskazują, iż **istnieje korelacja między liczbą uszkodzeń a materiałem, z którego zostały wykonane przewody.** W Polsce najgorzej, pod względem awaryjności, oceniane są przewody wykonane z żeliwa szarego ( $0,60 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ) i stali



Rys. 2. Miesięczna liczba awarii sieci rozdzielczej w latach 2007 – 2011

(1,14 uszk. · km<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>). Najmniejszą intensywnością uszkodzeń charakteryzują się przewody z tworzyw sztucznych oraz żeliwa sferoidalnego, w przypadku których wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń oszacowano na 0,10 uszk. · km<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup> [6].

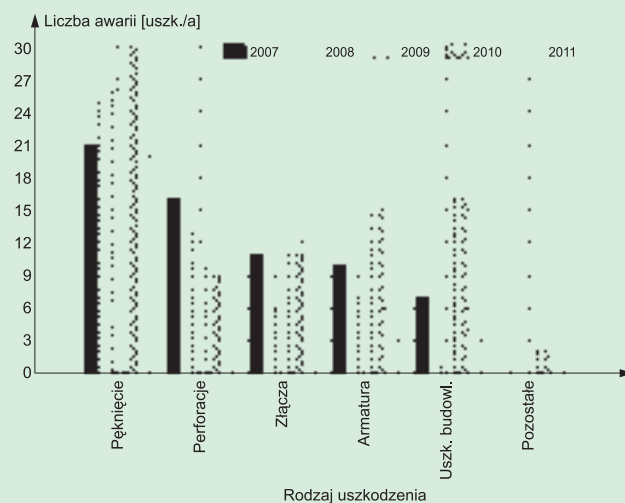
Analiza danych na terenie gminy i miasta Kołobrzeg (tabela 1) pozwoliła zaobserwować, że najwięcej awarii sieci rozdzielczej miało miejsce na przewodach żeliwnych. W całym okresie poddanym analizie miały miejsce 192 uszkodzenia, co dało średnio 38,4 uszkodzeń w roku. Na podobnym poziomie kształtowała się liczba uszkodzeń przewodów stalowych, PVC i PE (średnio 3,8 – 4,4 uszkodzenia w roku). Na podstawie szacunkowych danych struktury materiałowej sieci w 2011 r., wyznaczono wskaźniki intensywności uszkodzeń w przypadku poszczególnych materiałów. Rzeczywiste wielkości wskaźników mogą nieco odbiegać od wyznaczonych, a do ich określenia wymagana byłaby dokładna znajomość długości przewodów. Najwyższy wskaźnik intensywności uszkodzeń odnotowano dla przewodów z azbestocementu (1,30 uszk. · km<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>), które w 2011 r. stanowiły zaledwie 0,5% długości sieci i uległy awarii dwukrotnie. Przewody żeliwne stanowiły 40% długości sieci, a ich awaryj-

Tabela 1. Liczba awarii sieci rozdzielczej w latach 2007 – 2011 w zależności od materiału przewodów

Materiał	Liczba awarii							Udział %
	2007	2008	2009	2010	2011	razem	średnia	
Stal	5	2	4	4	4	19	3,8	6,07
Żeliwo	39	37	36	48	32	192	38,4	61,34
PVC	6	7	3	3	3	22	4,4	7,03
PE	5	1	3	7	3	19	3,8	6,07
AC	0	0	1	6	2	9	1,8	2,88
Armatura	10	7	11	15	6	49	9,8	15,65
Pozostałe	0	2	1	0	0	3	0,6	0,96

ność kształtowała się na poziomie 0,26 uszk. · km<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>. Wskaźniki intensywności uszkodzeń przewodów stalowych, PVC i PE były na porównywalnym poziomie i wyniosły odpowiednio: 0,09 uszk. · km<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>, 0,05 uszk. · km<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup> i 0,04 uszk. · km<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>.

W celu dokonania bardziej szczegółowej analizy, awarie podzielono na sześć grup (rysunek 3): pęknięcia poprzeczne i wzdłużne, perforacje, uszkodzenia złączy, armatury oraz uszkodzenia mechaniczne spowodowane przez firmy budowlane. Do szóstej grupy zakwalifikowano awarie, na temat których nie było wystarczających informacji umożliwiających przyporządkowanie ich do jednej z pięciu pozostałych grup. Bezpośrednio z rodzajem uszkodzenia związany był materiał, z którego zostały wykonane przewody. Z opracowanego zestawienia (tabela 2) wynika, że w przypadku sieci rozdzielczej pęknięcia poprzeczne i wzdłużne przewodów stanowiły główną grupę uszkodzeń. W badanym okresie odnotowano ich 122, co stanowiło 39% wszystkich uszko-



Rys. 3. Liczba awarii sieci rozdzielczej w latach 2007 – 2011 w zależności od rodzaju uszkodzenia

żeń. Ten rodzaj awarii pojawiał się najczęściej w 2010 r. (30 uszkodzeń). Pęknięcia występowały przede wszystkim na przewodach żeliwnych, a pojedyncze zarejestrowane przypadki pojawiły się również na przewodach wykonanych z PVC i AC.

Drugą co do wielkości grupą uszkodzeń były perforacje. W analizowanym okresie miało miejsce 51 uszkodzeń z tej grupy, czyli 17,57% wszystkich odnotowanych awarii. Perforacje pojawiały się zarówno na przewodach żeliwnych, stalowych, jak i z PVC. W latach 2007 – 2011 nastąpił spadek tego typu uszkodzeń na kołobrzesckiej sieci z 16 do 5 zdarzeń (rysunek 3). Uszkodzeniom ulegały również złącza i były to zarówno połączenia kielichowe, kołnierzowe, złącza spawane oraz zgrzewane, jak również złączki stosowane do połączeń przewodów z tworzywa sztucznego. Awaryje tego typu stanowiły 16,29% wszystkich uszkodzeń, a dotyczyły przede wszystkim połączeń kielichowych przewodów żeliwnych. Awaryje armatury wyniosły 15,65% wszystkich uszkodzeń i dotyczyły głównie hydrantów (38,78%) oraz zasuw (24,49%). Ważnym problemem były i wciąż pozostają



Tabela 2. Zestawienie liczby awarii sieci rozdzielczej w zależności od rodzaju uszkodzenia i materiału przewodów

Rodzaj awarii	Materiał	Liczba awarii w latach				
		2007	2008	2009	2010	2011
Pęknięcia poprzeczne i wzdłużne	stal	0	0	0	0	0
	żeliwo	20	23	25	28	20
	PVC	0	2	0	1	0
	PE	1	0	0	0	0
	AC	0	0	1	1	0
Perforacje	stal	4	2	3	4	4
	żeliwo	11	10	7	5	1
	PVC	1	1	2	0	0
	PE	0	0	0	0	0
	AC	0	0	0	0	0
Złącza	stal	0	0	1	0	0
	żeliwo	5	3	3	6	8
	PVC	3	2	1	1	3
	PE	3	1	3	4	2
	AC	0	0	0	1	1
	pozostałe	0	0	1	0	1
Armatura	–	10	7	11	15	6
Uszkodzenia budowlane	–	7	4	1	16	4
Pozostałe	–	0	1	0	2	1

uszkodzenia mechaniczne spowodowane przez firmy budowlane, które w badanym okresie stanowiły aż 10% wszystkich uszkodzeń.

### Podsumowanie

Zaprezentowane analizy pozwalają określić stan techniczny kołobrzesckiej sieci wodociągowej jako zadowalający. W badanym okresie (lata 2007 – 2011) wartość wskaźnika awaryjności sieci rozdzielczej ( $0,16 - 0,27$  uszk.  $\cdot$  km $^{-1}$   $\cdot$  a $^{-1}$ ) oraz magistrali ( $0,00 - 0,14$  uszk.  $\cdot$  km $^{-1}$   $\cdot$  a $^{-1}$ ) nie przekroczyła przyjętych norm [5]. W gorszym stanie technicznym niż sieć pozostają przyłącza. Wskaźnik intensywności ich uszkodzeń wynoszący  $1,26 - 1,76$  uszk.  $\cdot$  km $^{-1}$   $\cdot$  a $^{-1}$ , przekroczył dopuszczalne wartości [5].

Ze względu na losowy charakter uszkodzeń oraz dużą liczbę czynników mających wpływ na pracę wodociągów, wskazanie miejsca pojawienia się awarii jest prawie niemożliwe. Przeprowadzenie analizy awaryjności pozwala jednak na określenie stanu technicznego sieci, a wzrost wartości wskaźnika awaryjności wskazujący na zły stan przewodów wodociągowych powinien być sygnałem dla przedsiębiorstwa wodociągowego do podjęcia działań, które pozwolą uniknąć dalszych awarii. Istotne jest więc prowadzenie przez zarządcę sieci statystyk liczby uszkodzeń i ich przyczyn.

### Streszczenie

W artykule dokonano analizy awaryjności sieci wodociągowej miasta i gminy Kołobrzeg w latach 2007 – 2011. Wyznaczono wartości wskaźnika awaryjności poszczególnych rodzajów przewodów, wykazano sezonowość występowania awarii oraz korelację pomiędzy liczbą uszkodzeń a materiałem, z którego wykonane są przewody. Ponadto przedstawiono rodzaje uszkodzeń sieci rozdzielczej.

**Słowa kluczowe:** awaryjność systemów wodociągowych, intensywność uszkodzeń.

### Abstract

The paper analyses the unreliability of the water supply system of Kołobrzeg city and commune in the years 2007 – 2011. The values of defect rate percentages for different types of pipes were determined, seasonality of defect occurrence and the correlation between the number of defects and the material of the piping were proved. In addition, types of defects occurring in the distribution network were presented.

### Literatura

- [1] Kruszelnicka I., Ginter-Kramarczyk Dobrochna: Materiały do budowy sieci i instalacji wodociągowych. Wodociągi-Kanalizacja, nr 10, 2012, s. 30 – 32.
- [2] Hotło H.: Badania eksploatacyjne wpływu wysokości ciśnienia i materiału rur na uszkadzalność sieci wodociągowej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 11, 2002, s. 402 – 407.
- [3] Zimoch I.: Niezawodnościowa interpretacja awaryjności podsystemu dystrybucji wody. Czasopismo Techniczne. Środowisko, R. 108, z. 1-Ś, 2011, s. 212 – 223.
- [4] Gruszecki T., Kanarek J.: Analiza zmienności rozbioru wody na przykładzie Kołobrzegu. XVII Krajowa, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zapotrzebowanie w wodę, jakość i ochrona wód”. Tom II, Poznań, 2004, s. 123 – 127.
- [5] Bergel T.: Awaryjność sieci wodociągowych małych wodociągów grupowych w Polsce. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2012, nr 12, s. 536 – 539.
- [6] Kwietniewski M.: Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Międzyzdroje, 2011, s. 127 – 140.
- [7] Budziło B., Holibożek M.: Analiza produkcji, sprzedaży wody i awarii podsystemu dystrybucji wody wodociągu w Skawinie. XIX Krajowa, VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zapotrzebowanie w wodę, jakość i ochrona wód”. Poznań, 2006, s. 404 – 410.
- [8] Hotło H.: Analiza uszkodzeń i kosztów naprawy przewodów wodociągowych w okresie zimowym. Ochrona Środowiska, nr 2, 2009, s. 41 – 48.
- [9] Jodłowski A., Cholewska A.: Ocena awaryjności sieci wodociągowej miasta Łodzi na podstawie danych eksploatacyjnych. Instal, nr 12, 2007, s. 68 – 71.
- [10] Kusak J., Kwietniewski M., Sudoł M.: Wpływ różnych czynników na uszkadzalność przewodów sieci wodociągowych w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 10, 2002, s. 366 – 371.
- [11] Kwietniewski M., Misztal-Kruk K., Piotrowska A.: Wpływ temperatury wody w sieci wodociągowej na jej awaryjność w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności. Czasopismo Techniczne. Środowisko, R. 108, z. 1-Ś, 2011, s. 113 – 127.
- [12] Pawełek J., Wojdyła M.: Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociągowym. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 2, 2001, str. 49 – 54.
- [13] Studziński A., Pietrucha-Urbanik K.: Awaryjność sieci wodociągowej Tamowa. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 10, 2012, s. 464 – 466.