

**Małgorzata IWANEK<sup>1</sup>**  
**Beata KOWALSKA<sup>2</sup>**  
**Dariusz KOWALSKI<sup>3</sup>**  
**Marian KWIETNIEWSKI<sup>4</sup>**  
**Katarzyna MISZTA-KRUK<sup>5</sup>**  
**Anna RZEPKA<sup>6</sup>**  
**Kornelia SZOTOWICZ<sup>7</sup>**

## **WPLYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA AWARYJNOŚĆ SIECI KANALIZACYJNYCH W UKŁADZIE PRZESTRZENNYM – STUDIUM PRZYPADKU**

W pracy przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych awaryjności sieciowych obiektów kanalizacyjnych tworzących systemy odprowadzania ścieków w dużym mieście. Badaniami objęto 1568 km sieci kanalizacyjnych, w tym sieć ogólnospławną około 429 km, sieć sanitarną około 660 km, sieć deszczową około 470 oraz przewody tłoczne około 9 km. Głównym celem badań była ocena i wizualizacja awaryjności sieci kanalizacyjnych i kanałów na mapach numerycznych miasta. Oceniono wpływ rodzaju sieci, wymiaru (poniżej i powyżej 300 mm) i materiału kanałów (kamionka, beton i żelbet, żeliwo szare, PVC), pory roku, rodzaju gruntu oraz występowania wód gruntowych na awaryjność obiektów sieciowych. Na potrzeby analiz awaryjności wyodrębniono odpowiednie obiekty badawcze. Obiekty takie są podstawą tworzenia bazy danych w GIS do celów zarządzania awariami. Zamieszczono fragment planu siatki ulic ze wskazaniem miejsc awarii wraz z ich opisem. Zdefiniowano trzy grupy zdarzeń awaryjnych, tj. zamulenie – pełne zablokowanie przepływu, niedrożność – częściowe blokowanie przepływu, i inne zdarzenia, głównie mechaniczne uszkodzenia. Analiza uzyskanych wyników pokazała, że blisko  $\frac{3}{4}$  wszystkich zarejestrowanych zdarzeń to niedrożności powodujące zakłócenia w przepływie, ale nieblokujące go całkowicie. W badanym okresie zaobserwowano tendencję malejącą w zakresie awaryjności badanych sieci kanali-

<sup>1</sup> Małgorzata Iwanek, Politechnika Lubelska

<sup>2</sup> Beata Kowalska, Politechnika Lubelska

<sup>3</sup> Dariusz Kowalski, Politechnika Lubelska

<sup>4</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Marian Kwietniewski, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, tel. 22 2345336, marian.kwietniewski@is.pw.edu.pl

<sup>5</sup> Katarzyna Miszta-Kruk, Politechnika Warszawska

<sup>6</sup> Anna Rzepka, Politechnika Warszawska

<sup>7</sup> Kornelia Szotowicz, Politechnika Warszawska

zacyjnych. Uzupełniającym efektem badań jest hierarchizacja obiektów pod względem ryzyka ich awarii. Ustalono, że największym ryzykiem awarii są obciążone kanały sanitarne o średnicy poniżej 300 mm, ułożone w piaskach wodnolodowcowych i lodowcowych przy głębokości zalegania wód gruntowych do 5 m ppt.

**Słowa kluczowe:** niezawodność, sieci kanalizacyjne, czynniki uszkodzeń, GIS

## 1. Wprowadzenie

Badania awaryjności i niezawodności sieci kanalizacyjnych oraz ich elementów składowych są prowadzone w Polsce i na świecie już od wielu lat, choć zakres publikowanych ocen niezawodności jest niewielki. Badania są ukierunkowane tradycyjnie na identyfikację rodzajów (typów), przyczyn oraz skutków zdarzeń awaryjnych [4, 5, 8, 10, 14-16, 23-25] lub na wyznaczenie wskaźników niezawodności dla sieci jako całości i ich elementów składowych, uwzględniając przy tym wpływ niektórych czynników na niezawodność sieci [1, 3, 4, 6, 9, 16, 17, 19, 22, 26]. Prowadzone są też rozważania i studia analityczne, których efektem są metody oceny niezawodności funkcjonowania różnych systemów kanalizacyjnych, konwencjonalnych i niekonwencjonalnych [2, 7, 12, 13, 18, 20, 21].

Brak jest publikowanych wyników badań idących w kierunku oceny awaryjności i niezawodności obiektów kanalizacyjnych klasyfikowanych w odpowiedni sposób i identyfikowanych przestrzennie w bazie GIS. Wizualizacja oceny tych obiektów jest istotnym elementem w procesie decyzyjnym dotyczącym odnowy sieci. Przykładem takiego podejścia jest propozycja wykorzystania bazy GIS do oceny awaryjności i niezawodności obiektów sieci wodociągowej przedstawiona w pracy [11].

Przedmiotem niniejszej pracy są badania eksploatacyjne awaryjności i niezawodności obiektów sieciowych systemów odprowadzania ścieków funkcjonujących w dużym mieście. Głównym celem badań była ocena wpływu określonych czynników na awaryjność i niezawodność obiektów kanalizacyjnych z możliwością przestrzennej wizualizacji tego wpływu na mapie numerycznej sieci. Wyniki oceny przedstawiono także w sposób tradycyjny w formie opracowanych statystycznie wykresów i zestawień tabelarycznych.

Przeprowadzone badania są kolejnym etapem prac na drodze tworzenia standardów współpracy baz danych typu GIS z modułem „analiza i ocena awaryjności sieci kanalizacyjnych” rozwijanym w przedsiębiorstwach wodociągowych. Prace w tym kierunku zostały zapoczątkowane przez zespół autorski w ramach projektu badawczego [24] realizowanego w latach 2011-2012 na Politechnice Warszawskiej i Politechnice Lubelskiej. Opracowano już propozycje zakresu i formatu danych oraz sposoby wizualizacji wyników ocen awaryjności, które są aktualnie wdrażane w MPWiK w Puławach. Wyniki przedstawione w niniejszej publikacji są efektem rozpoznania aktualnego stanu i zakresu ewi-

dencjonowania danych w wybranym przedsiębiorstwie oraz możliwości wizualizacji oceny awaryjności sieci kanalizacyjnych usprawniającej proces zarządzania ich eksploatacją.

## 2. Obiekt badań

Całkowita długość sieci kanalizacyjnych w badanym mieście w 2012 r. wynosiła około 1568 km, przy czym sieć ogólnospławna około 429 km, sieć bytowo-gospodarcza 660 km, sieć deszczowa 470 km i przewody tłoczne o długości około 9 km. Badane sieci obejmują kanały zbudowane niemal ze wszystkich stosowanych dotychczas na rynku materiałów. Niemniej w sieci ogólnospławnej dominują głównie kanały wykonane z kamionki tradycyjnej – około 233 km (54% długości sieci) i murowane – około 170 km (około 40%). Pozostała część sieci jest zbudowana z betonu, żelbetu i tworzyw sztucznych.

Struktura materiałowa sieci sanitarnej obejmuje głównie kamionkę – około 454 km (około 69% długości sieci), w tym kamionkę tradycyjną – około 302 km i kamionkę nowej generacji – 152 km oraz PVC – około 135 km (około 21%). Pozostałą część stanowią kanały wykonane z cegły, PE, GRP i żelbetu.

Sieć deszczowa została zbudowana głównie z rur betonowych i żelbetonowych – około 384 km (82% długości sieci) i w małej części z PVC – około 43 km (około 9%). Do budowy sieci zastosowano także tworzywa sztuczne, żeliwo szare i cegłę.

Kanały mają przekroje kołowe, jajowe, jajowe podwyższone, gruszkowe i dzwonowe o wysokości zawierającej się w przedziale od 0,2 do 5 m, w tym kanały nieprzelazowe około 1268 km (około 81% długości wszystkich sieci) i kanały przelazowe o długości około 292 km (około 18,5%).

## 3. Metodyka badań

Badania były prowadzone w naturalnych warunkach utrzymania i eksploatacji sieci kanalizacyjnych, a ich podstawą były dane gromadzone przez ostatnie pięć lat (2008-2012) funkcjonowania tych sieci. Głównym źródłem danych była dokumentacja eksploatacyjna przedsiębiorstwa zawierająca ewidencję sieci oraz zgłoszenia awarii, napraw i remontów uszkodzonych elementów.

Program badań obejmował następujące etapy:

- 1) przygotowanie organizacyjne badań,
- 2) analizę strukturalną sieci i wyodrębnienie obiektów badawczych,
- 3) identyfikację czynników wpływających na awaryjność sieci,
- 4) ustalenie zakresu i gromadzenie danych o uszkodzeniach wraz z ich weryfikacją,
- 5) opracowanie statystyczne danych pod kątem

- analizy rodzajów i skutków uszkodzeń,
  - oceny wpływu ustalonych czynników na awaryjność sieci,
  - analizy przestrzennej rozkładu awaryjności sieci,
- 6) klasyfikację obiektów wyodrębnionych w sieciach pod kątem ryzyka awarii.

Na potrzeby analiz awaryjności wyodrębniono następujące obiekty badawcze:

- ze względu na rodzaj sieci
  - sanitarna (S),
  - ogólnospławna (O),
  - deszczowa (D),
- ze względu na materiał kanałów
  - kanały kamionkowe (K),
  - kanały betonowe i żelbetowe (B),
  - kanały z PVC (PVC),
- ze względu na wymiar kanału
  - kanały o wysokości  $\leq 300$  mm,
  - kanały o wysokości  $> 300$  mm.

Należy zaznaczyć, że dokładność tworzenia obiektów badawczych była silnie uzależniona od dostępności danych dotyczących zarówno zdarzeń awaryjnych, jak i charakterystyk technicznych sieci kanalizacyjnych i ich elementów.

W wyniku analizy i weryfikacji zgromadzonych danych źródłowych ustalono następujące czynniki, które mogą wpływać na awaryjność wyodrębnionych obiektów:

- czas eksploatacji,
- rodzaj (funkcja) sieci kanalizacyjnej,
- wymiar kanału,
- materiał kanału,
- pora roku,
- rodzaj gruntu,
- występowanie i poziom zwierciadła wód gruntowych.

Należy podkreślić, że wybór czynników był również uwarunkowany dostępnością danych.

Do oceny awaryjności i niezawodności sieci poza analizą bezwzględnych liczebności awarii zastosowano również jednostkową intensywność uszkodzeń szacowaną według zależności:

$$\lambda = \frac{m}{L \cdot \Delta t},$$

gdzie:  $\lambda$  – estymator średniej intensywności uszkodzeń obiektów [uszk./(km·rok)],  $\Delta t$  – przedział czasu [lata],  $m$  – liczba uszkodzeń w przedziale czasu  $\Delta t$ ,  $L$  – średnia długość badanych obiektów w przedziale czasu  $\Delta t$  [km].

Zdarzenia awaryjne (uszkodzenia) rejestrowane w czasie eksploatacji sieci miały różny charakter. Zdefiniowano trzy grupy takich zdarzeń, a mianowicie:

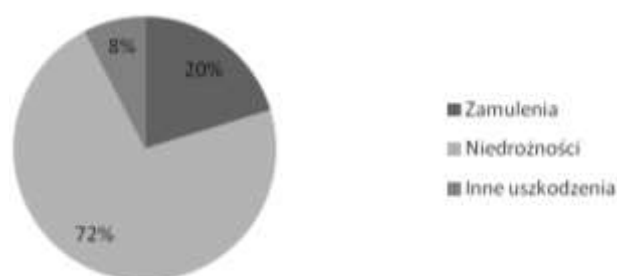
- zamulenie (Z) – powodujące zablokowanie przepływu (całkowitą niedrożność kanału),
- niedrożność (N) – powodujące częściowe blokowanie przepływu w kanale,
- inne uszkodzenia (I) – głównie uszkodzenia mechaniczne (pęknięcie, zerwanie, osiadanie kanału itp.).

Badania są wstępem do analizy wielowymiarowej, gdzie wynikowa ocena awaryjności obiektów kanalizacyjnych jest funkcją wielu zmiennych. Stąd też jednym z celów badań jest ustalenie istotnych parametrów w modelu wielowymiarowym, który będzie tworzony w przyszłości.

## 4. Wyniki badań

### 4.1. Rodzaje i skutki uszkodzeń

W materiałach źródłowych brak było informacji na temat przyczyn uszkodzeń. Potwierdzą to dotychczasowe doświadczenia autorów pracy, z których wynika, że bardzo trudno jest ustalić jednoznacznie bezpośrednią przyczynę zdarzenia awaryjnego, w szczególności w odniesieniu do sieci kanalizacyjnych. Każde stwierdzenie opisujące przyczynę jest subiektywne i wynika z doświadczenia pracowników zajmujących się usuwaniem awarii. Zwykle awaria jest ostatnim ogniwem w ciągu przyczynowo-skutkowym, w którym pojawiają się kolejne zdarzenia warunkowe, a cały proces powstawania uszkodzenia odbywa się według zasady domina i zajmuje długi czas. W rezultacie wiele podanych opisów uszkodzeń można często interpretować dwojako: jako rodzaje i przyczyny uszkodzeń. Strukturę zarejestrowanych uszkodzeń na sieciach kanalizacyjnych przedstawia rys. 1.

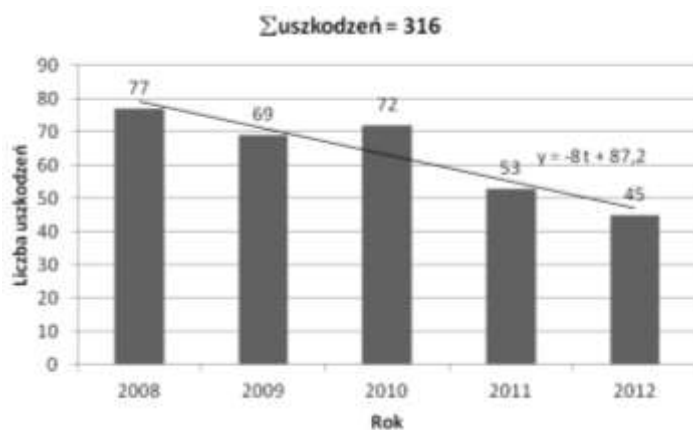


Rys. 1. Rodzaje zdarzeń awaryjnych na sieciach kanalizacyjnych

Fig. 1. Types of sewage network failures

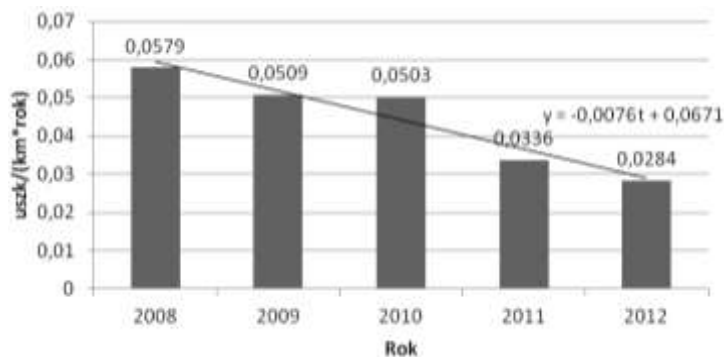
#### 4.2. Wpływ różnych czynników na awaryjność sieci kanalizacyjnych

Na rysunkach 2-9. i w tab. 1-3. zilustrowano rozkłady uszkodzeń oraz jednostkowe intensywności uszkodzeń.



Rys. 2. Rozkład liczby uszkodzeń sieci kanalizacyjnych w okresie badań

Fig. 2. Distribution of failure numbers In sewage Network during investigation period



Rys. 3. Rozkład intensywności uszkodzeń sieci kanalizacyjnych w okresie badań

Fig. 3. Distribution of failure intensity of sewage network during investigation period

#### Awaryjność w funkcji czasu obserwacji

Awaryjność analizowano w odniesieniu do liczby i jednostkowej intensywności uszkodzeń sieci. Wyniki zestawiono na rys. 2. i 3. oraz w tab. 1. Należy podkreślić, że liczba uszkodzeń, choć jest istotną ogólną informacją o awaryjności sieci kanalizacyjnych, nie wystarcza do pełnej oceny jej awaryjności, zależy

ona bowiem od długości sieci. Dlatego koniecznym uzupełnieniem jest tutaj średnia jednostkowa liczba uszkodzeń odniesiona do 1 km i roku.

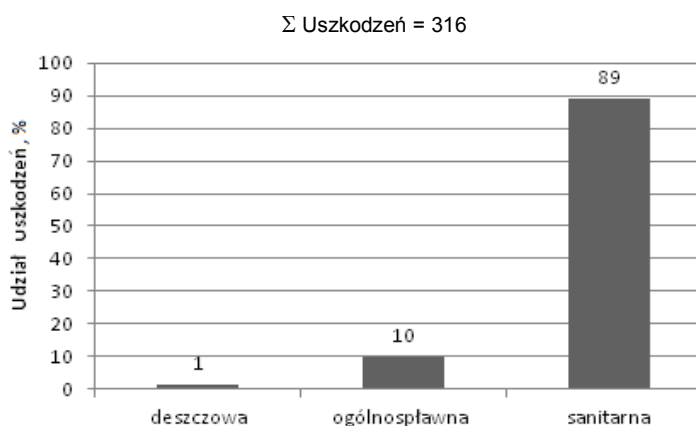
Tabela 1. Intensywność uszkodzeń sieci kanalizacyjnych w kolejnych latach obserwacji

Table 1. Failure intensity of sewage Network during observation period

Rok	Długość sieci [km]	Liczba awarii	Intensywność uszkodzeń $\lambda$ [uszk./km·rok]	Jedna awaria na przewodach o długości [km]
2008	1330	77	0,0579	17,27
2009	1355	69	0,0509	19,64
2010	1431	72	0,0503	19,88
2011	1577	53	0,0336	29,75
2012	1585	45	0,0284	35,22

### Rodzaj/funkcja sieci

Wpływ rodzaju/funkcji sieci przedstawiono na rys. 4. oraz w tab. 2.



Rys. 4. Rozkład uszkodzeń w zależności od rodzaju sieci kanalizacyjnej w okresie obserwacji (2008-2012)

Fig. 4. Distribution of failure number in dependence of sewage Network type during investigation period (2008-2012)

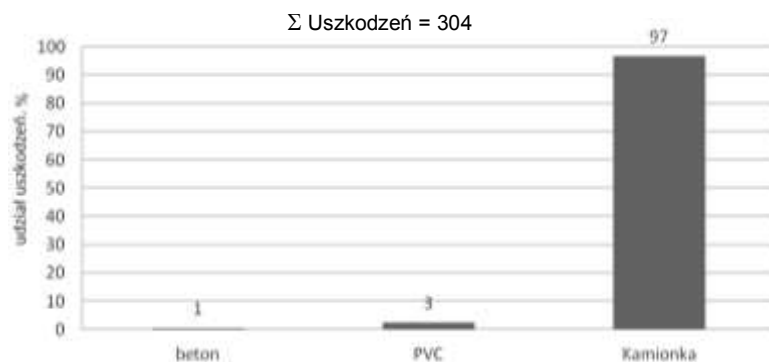
### Material i wymiar kanału

Wpływ materiału, z jakiego zbudowano kanały, i ich wymiaru na występowanie awarii w badanej sieci przedstawiono na rys. 5. i 6. oraz w tab. 3.

Tabela 2. Jednostkowa intensywność uszkodzeń w zależności od rodzaju sieci kanalizacyjnej w okresie obserwacji (2008-2012)

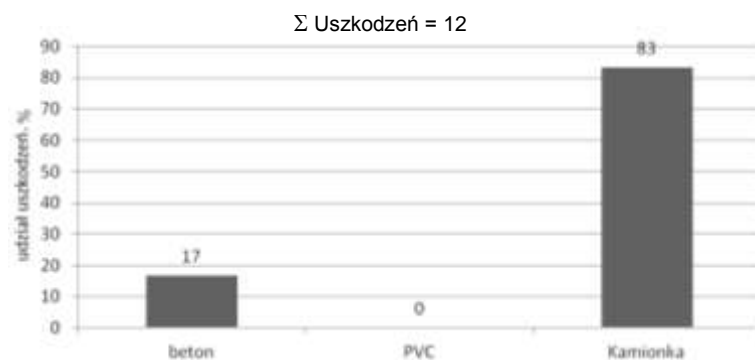
Table 2. The failure intensity in dependence of type of sewage network, during observation period (2008-2012)

Obiekt badawczy	Długość sieci [km]	Liczba awarii	Intensywność uszkodzeń [uszk./km·rok]	Jedna awaria na kanałach o długości [km]
Sieci kanalizacyjne łącznie	1455,6	63	0,0434	23,03
Sanitarna	592,8	56	0,0945	10,59
Ogólnospławna	396,6	6	0,0161	61,97
Deszczowa	466,2	1	0,0017	582,75



Rys. 5. Rozkład uszkodzeń kanałów w zależności od rodzaju materiału i wymiaru kanałów (DN ≤ 300)

Fig. 5. Distribution of pipe failures in dependence of material type and pipe dimension (DN ≤ 300)



Rys. 6. Rozkład uszkodzeń w zależności od rodzaju materiału i wymiaru kanałów (DN > 300)

Fig. 6. Distribution of pipe failures in dependence of material type and pipe dimension (DN > 300)

Tabela 3. Jednostkowa intensywność uszkodzeń kanałów wykonanych z różnych materiałów w okresie obserwacji (2008-2012)

Table 3. The failure intensity of pipes realised by various materials, during observation period (2008-2012)

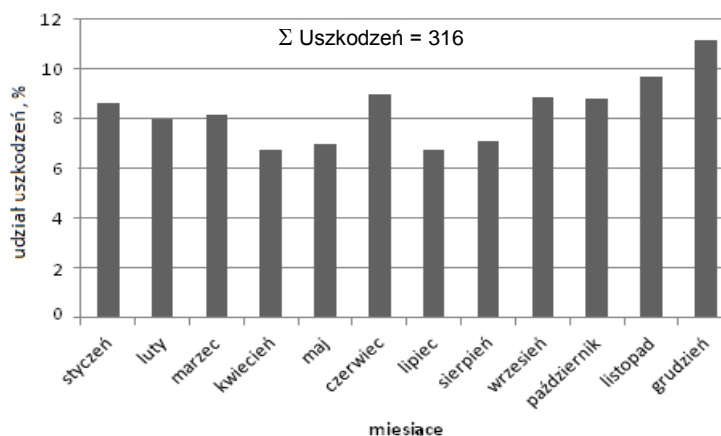
Obiekt badawczy	Długość sieci [km]	Liczba awarii	Intensywność uszkodzeń $\lambda$ [uszk/(km-rok)]	Jedna awaria na kanałach o długości [km]
Kanały kamionkowe	626,4	60	0,0967	10,34
Kanały betonowe	424,6	1	0,0019	530,75
Kanały z PVC	172,8	2	0,0104	96

### Pora roku

Wpływ pory roku na awaryjność przeanalizowano w skali poszczególnych miesięcy całego okresu obserwacji (rys. 7.).

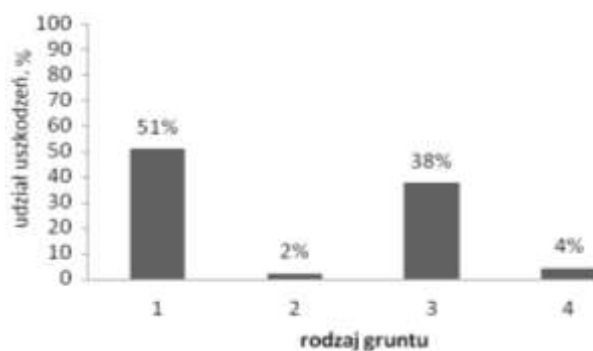
### Rodzaj gruntu

W ramach oceny wpływu warunków gruntowych na awaryjność sieci kanalizacyjnych skorelowano rozkład przestrzenny awarii z mapą gruntów na obszarze miasta. Następnie określono liczby uszkodzeń występujących na poszczególnych rodzajach gruntu (rys. 8.).



Rys. 7. Rozkład uszkodzeń w poszczególnych miesiącach w latach 2008-2012

Fig. 7. Failure ratio distribution in the subsequent months of 2008-2012 year

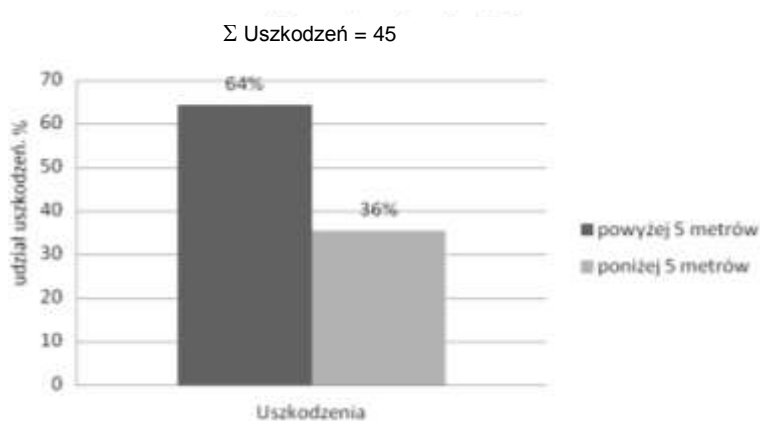


Rys. 8. Rozkład uszkodzeń kanałów w zależności od rodzaju otaczającego gruntu; 1 – piaski wodolodowcowe i lodowcowe, 2 – twory zaiskowe, 3 – gliny zwałowe, 4 – grunty nasypowe

Fig. 8. Distribution of sewage pipelines failures depending on the surrounding soil; 1 – glacial and fluvioglacial sands, 2 – pocket deposits, 3 – tills, 4 – embankments

#### Występowanie wody gruntowej

Wpływ wody gruntowej na awaryjność sieci analizowano z uwzględnieniem danych informujących, że występuje ona na głębokości do 5 m ppt i poniżej 5 m ppt. Wyniki obliczeń odnoszą się do 2012 r. (rys. 9).



Rys. 9. Rozkład uszkodzeń w zależności od poziomu zalegania wód

Fig. 9. Distribution of water pipelines failures depending on the range of occurrence of groundwater

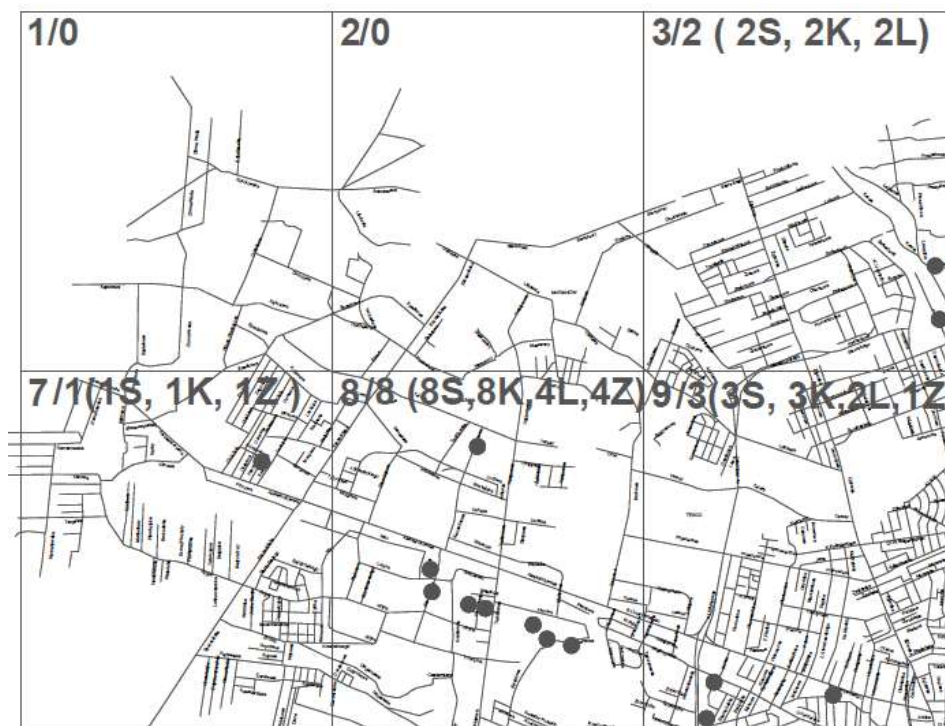
### **4.3. Klasyfikacja obiektów infrastruktury kanalizacyjnej pod kątem ryzyka awarii**

Jednym z efektów przeprowadzonych analiz awaryjności jest uporządkowanie obiektów badawczych pod kątem ryzyka wystąpienia awarii. W przypadku sieci kanalizacyjnych ryzyko dotyczy nieodprowadzenia z obiektów budowlanych przewidywanej ilości ścieków lub też przepięnienia sieci oraz wystąpienia podtopień i zalania nisko położonych części budynków lub terenu. Podano klasyfikację badanych obiektów pod kątem ryzyka wystąpienia awarii w kolejności od największego do najmniejszego. Klasyfikacji dokonano w obszarze każdego czynnika wpływającego na awaryjność sieci. Należy zaznaczyć, że oceny ryzyka są pochodną zakresu i dokładności danych źródłowych, jakie można było uzyskać na potrzeby badań.

1. Obiekty według funkcji:
  - sieć sanitarna,
  - sieć ogólnospławna,
  - sieć deszczowa.
2. Obiekty według materiałów:
  - kanały kamionkowe (najprawdopodobniej kamionka tradycyjna),
  - kanały betonowe i z PVC.
3. Obiekty według wymiaru:
  - kanały o średnicy  $\leq 300$  mm,
  - kanały o średnicy  $> 300$  mm.
4. Obiekty z uwzględnieniem wpływu rodzaju gruntu:
  - kanały ułożone w piaskach wodnolodowcowych i lodowcowych,
  - kanały ułożone w glinach zwałowych,
  - kanały ułożone w pozostałych gruntach.
5. Obiekty z uwzględnieniem wpływu poziomu wód gruntowych:
  - kanały ułożone na głębokości zalegania wód gruntowych do 5 m ppt.,
  - kanały ułożone na głębokości zalegania wód gruntowych poniżej 5 m ppt.

### **4.4. Rozkład przestrzenny awaryjności infrastruktury kanalizacyjnej**

Ze względu na ograniczoną dostępność danych przestrzenne rozkłady awaryjności sieci opracowano dla ostatniego 2012 r. obserwacji. W tym celu na mapie miasta z naniesioną siecią kanalizacyjną utworzono regularną siatkę jednokowych pól i zidentyfikowano w nich awarie, uwzględniając lokalizację oraz w miarę dostępności danych wszystkie czynniki determinujące zdarzenia awaryjne. Przestrzenny rozkład awarii zilustrowano na przykładzie podstawowej warstwy tematycznej przedstawiającej rozmieszczenie awarii na siatce ulic (rys. 10.).



Rys. 10. Fragment planu ogólnego siatki ulic z rozmieszczeniem awarii na sieci kanalizacyjnej; 1/2 – 1 to nr strefy, a 2 – całkowita liczba awarii w strefie (2S, 2K, 2L), 2S – liczba awarii na kanalizacji sanitarnej, 2K – liczba awarii na kanałach kamionkowych, 2L – liczba awarii latem, Z – zimą

Fig. 10. Fragment of a general plan for the street grid of the inventory of the accident; 1/2 – no. area/number of failures in the area (2S, 2K, 2L), 2S –number of sanitary network failures, 2K – number of failures of ceramic pipes, 2L –number of failures in summer season, Z – number of failures in winter season

## 5. Dyskusja wyników i wnioski

Analiza uzyskanych wyników wyraźnie wskazuje, że blisko  $\frac{3}{4}$  uszkodzeń to zdarzenia, które określono jako niedrożności powodujące zakłócenie przepływu, ale niewstrzymujące go całkowicie. Całkowite zapchania kanałów stanowiły 18,3%, a inne uszkodzenia, głównie mechaniczne, poniżej 10% wszystkich zarejestrowanych zdarzeń (rys. 1.). Znacznie rzadsze zamulenia i niedrożności kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej można tłumaczyć m.in. większą zdolnością ich samooczyszczania się w czasie intensywnych opadów.

W badanym okresie awaryjność sieci kanalizacyjnych wykazuje zdecydowanie tendencję malejącą, nawet w 2010 r., kiedy intensywność uszkodzeń się nie zmieniła w stosunku do 2009 r. (rys. 3.), mimo że liczba awarii wzrosła (rys. 2.).

Awarie odnotowywano głównie na sieci sanitarnej, gdzie występowało około 90% wszystkich zdarzeń. Pozostałe sieci charakteryzują się zdecydowanie mniejszą awaryjnością (rys. 4.), co potwierdzają również jednostkowe intensywności uszkodzeń (tab. 2.).

Zdecydowana większość awarii miała miejsce na kanałach małych o średnicy  $\leq 300$  mm. Obejmowały one ponad 96% wszystkich zdarzeń i były rejestrowane głównie na kanałach kamionkowych. Awarie występowały przede wszystkim w miesiącach jesienno-zimowych i wiosennych. Podwyższoną awaryjność zaobserwowano także latem (czerwiec, lipiec).

Większość awarii występowała na kanałach ułożonych w piaskach wodolodowcowych, lodowcowych i glinach zwałowych. Zaobserwowano relację pomiędzy występowaniem wody gruntowej na głębokości do 5 m ppt. a awaryjnością kanałów. Większość awarii występowała na kanałach przy tej głębokości zalegania wody gruntowej. Stwierdza się, że kanały sanitarne o średnicy poniżej 300 mm ułożone w piaskach wodnolodowcowych i lodowcowych przy głębokości zalegania wód gruntowych do 5 m ppt. są najbardziej narażone na ryzyko awarii.

Wizualizacja oceny zasięgu skutków awarii jest niezwykle trudna chociażby ze względu na ograniczoność i stopień szczegółowości dostępnych map. W prezentowanej pracy wykorzystywano zatem głównie liczebność awarii, rzadziej natomiast jednostkową intensywność uszkodzeń, która jest lepszym wskaźnikiem awaryjności i pozwala jednocześnie na jednoparametryczną ocenę niezawodności badanych obiektów. Niemniej jednak, liczby awarii w poszczególnych polach informują wstępnie o skali zagrożenia dla otoczenia uszkodzonych kanałów. Sygnalizują gęstość nasilenia awarii w danym rejonie, co może być istotną pomocą dla eksploatatora sieci. Taka forma wizualizacji oceny awaryjności infrastruktury kanalizacyjnej może być pomocna dla służb utrzymujących i eksploatujących sieci kanalizacyjne w usprawnieniu zarządzania eksploatacją tych sieci.

## 6. Podsumowanie

Należy podkreślić, że bardzo pomocne w ustalaniu obszarów zagrożonych skutkami awarii są przegląd i właściwa analiza historii wcześniejszych zdarzeń awaryjnych, a zwłaszcza warunków dokonywania napraw. Odnosi się to w szczególności do obszarów o dużym nasileniu uszkodzeń, jak również do obszarów o intensywnym zagospodarowaniu terenu. Przydatna jest w tym przypadku przestrzenna wizualizacja rozkładu gęstości awarii na mapie sieci.

Identyfikacja i analiza zagrożeń awariami oraz wynikające z niej wnioski potwierdzają dotychczasowe spostrzeżenia, że awarie sieci kanalizacyjnych mają w dużej części charakter zdarzeń warunkowych. W procesie ich powstawania można bowiem zaobserwować istnienie ciągu związków przyczynowo-skutkowych, w którym zdarzenia poprzednie, niekoniecznie poważne implikują

następne, aż do powstania awarii lub nawet katastrofy kanalizacyjnej, którą można zaobserwować bez ciągłego monitoringu sieci. W związku z tym bardzo trudno jest podać dokładne przyczyny powstawania awarii w sieciach kanalizacyjnych. Można natomiast wskazać ogólnie na trzy grupy tych przyczyn, a mianowicie:

- operacyjne związane z funkcjonowaniem i eksploatacją sieci,
- zewnętrzne w stosunku do sieci, jak np. oddziaływanie obiektów znajdujących się w najbliższym otoczeniu kanału,
- naturalne, jak np. powodzie miejskie.

Dotychczas stworzono podstawy jednolitych standardów określających sposób wykorzystania baz danych typu GIS do oceny awaryjności sieci kanalizacyjnych. Pomimo dużego zaawansowania prac wdrożeniowych w zakresie tworzenia GIS w przedsiębiorstwach wodociągowych nadal widać braki w danych niezbędnych do analizy i oceny awaryjności obiektów kanalizacyjnych, która jest podstawą oceny stanu technicznego sieci.

Zakres dotychczas przeprowadzonych badań awaryjności i niezawodności systemów odprowadzania ścieków jest dużo skromniejszy niż w odniesieniu do sieci wodociągowych, dla których uzyskano już bogate zbiory wartości różnych wskaźników niezawodności. Istnieje zatem potrzeba zintensyfikowania tego typu badań, co pozwoli na stworzenie lepszych podstaw do oceny stanu technicznego elementów sieci kanalizacyjnych.

Obecne zasoby danych dostępnych w przedsiębiorstwie nie umożliwiają jednoznacznej identyfikacji obiektów sieci kanalizacyjnych ani też możliwości wyznaczenia dokładnych wartości parametrów niezawodności. Uzyskiwane na ich podstawie oceny awaryjności/niezawodności tych obiektów są więc jeszcze mało dokładne, a w rezultacie niepewna jest ocena stanu technicznego sieci i ich elementów, co z kolei utrudnia podejmowanie decyzji o odnowie sieci.

## Literatura

- [1] Chudzicki J., Czechowicz Z., Kwietniewski M., Miszta-Kruk K.: Ocena niezawodności eksploatacyjnej elementów sieci kanalizacyjnej, [w:] Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych, K. Kuś, F. Piechurski (red.). Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012, s. 369-387.
- [2] Ermolin Y.A.: Estymation of raw sewage discharge resulting from sewer network failures. Urban Water no. 3, 2001, pp. 271-276.
- [3] Hotłoś H., Mielcarzewicz E.: Uszkodzalność sieci wodociągowej i kanalizacyjnej w warunkach eksploatacji górniczej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 12, 1995, s. 429-433.
- [4] Hotłoś H., Mielcarzewicz E.: Warunki i ocena niezawodności działania sieci wodociągowych i kanalizacyjnych na terenach górniczych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, seria: Monografie, nr 56. Wrocław 2011.
- [5] Jamska H.: Wstępna ocena parametrów niezawodności sieci wodociągowej i kanalizacyjnej w Krakowie. Mat. XII Seminarium Szkoleniowego Projektantów Wodociągów. Wydaw. PZITS, Zakopane 1983.

- [6] Kapcia J.: Niezawodność syfonów kanalizacyjnych. Politechnika Krakowska, Kraków 1997 (praca doktorska).
- [7] Kapcia J., Lubowiecka T.: Metoda oceny niezawodności funkcjonowania kanalizacji ciśnieniowej. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
- [8] Karangawa A., Madryas C.: Uszkodzenia i naprawa przełazowych kolektorów żelbetowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 12, 1997, s. 469-474.
- [9] Kotowski A., Kluska W.: Badanie sprawności sieci kanalizacyjnej na terenach szkód górniczych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 11, 2000, s. 445-449.
- [10] Kotowski A., Wartalski J., Kluska W.: Analiza wpływu szkód górniczych na stan techniczny sieci kanalizacyjnej Polkowic. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 11, 1995, s. 387-405
- [11] Kowalska B., Kowalski D., Kwietniewski M., Miszta-Kruk K.: Ocena awaryjności systemu dystrybucji wody z wykorzystaniem bazy danych typu GIS., [w:] *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, t. II. Z. Dymaczewski, J. Jeż-Walkowiak (red.). Wydaw. PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań 2012, s. 67-76.
- [12] Królikowska J.: Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej. Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Monografia, nr 382, Kraków 2010.
- [13] Królikowska J., Królikowski A.: Wybrane problemy niezawodności i bezpieczeństwa systemów kanalizacyjnych. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – Woda 2014”*. Wydaw. PZITS O/Wielkopolski, Poznań-Toruń 2014, s. 107-115.
- [14] Kuliczkowski A.: Katastrofy kanalizacyjne. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 2, 1995, s. 58-62.
- [15] Kuliczkowski A., Zwierzchowski D., Kania M.: Nieprawidłowości hydrauliczno-eksploatacyjne kanałów badanych techniką video. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 1/2004, s. 24-28.
- [16] Kwietniewski M., Leśniewski M.: Niezawodność przewodów kanalizacyjnych w świetle badań eksploatacyjnych. *Mat. konf. „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”*. Wydaw. PZITS, nr 797, 2001, s. 205-219.
- [17] Kwietniewski M., Leśniewski M., Miszta-Kruk K., Trymucha J., Zając A.: Ocena awaryjności sieci kanalizacyjnych na podstawie badań wybranych systemów. *Mat. V Ogólnopolskiej Konferencji „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowo-kanalizacyjnych”*, Ustroń 2004, Wydaw. Politechnika Śląska, Gliwice 2004, s. 249-261.
- [18] Li J.Y., Adams B.J.: Probabilistic models for analysis of urban runoff control systems. *Water Resources Research*, vol. 126, no. 3, 2000, pp. 217-224.
- [19] Madryas C.: Odnowa przewodów kanalizacyjnych. *Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej*, nr 42, seria 16, Wrocław 1993.
- [20] Miszta-Kruk K.: Analiza niezawodności kanalizacji podciśnieniowej na podstawie badań eksploatacyjnych wybranych systemów. Politechnika Warszawska, Warszawa 2006 (rozprawa doktorska).
- [21] Miszta-Kruk K., Kwietniewski M.: Fault tree reliability evaluation method for a vacuum sewerage system, [w:] *Environmental engineering*. Pawłowski A., Pawłowska M., Dudzińska M.R. (red). Taylor & Francis Group, London, Singapore 2007, pp. 150-159.

- [22] Miszta-Kruk K., Kwietniewski M., Wciseł E.: Charakterystyka awaryjności sieci kanalizacyjnych na przykładzie wybranego systemu w dużej aglomeracji miejskiej. Mat. ogólnokrajowego sympozjum „Hydroprezentacje”. Wydaw. NOT, Katowice 2009, s. 121-135.
- [23] Niederehe W., Stein D.: Instandhaltung von Kanalisationen. Verlag Architektur und Technische Wissenschaften, Berlin 1987.
- [24] „Przygotowanie założeń i wdrożenie Zintegrowanego Systemu Zarządzania Infrastruktura Techniczną Przedsiębiorstwa. Cz I.” Projekt realizowany dla MPWiK „Wodociągi Puławskie” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Działanie 1.4, 2011-2012, <http://www.mpwik.pulawy.pl/> (dostęp 26.11.2014).
- [25] Stein D., Kaufmann O.: Schadensanalyse an Abwasserkanalen aus Beton- und Steinzeugrohren der Bundesrepublik Deutschland-West. Korrespondenz Abwasser, Heft, nr 2, 1993, s. 168-179.
- [26] Zuber T.: Wpływ eksploatacji górniczej na uszkodzalność sieci wodociągowych i kanalizacyjnych na obszarze wybranych miast Śląska. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 6, 1999, s. 207-213.

## THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON SEWER SYSTEMS FAILURES IN SPATIAL MATCH – CASE STUDY

### Summary

The paper presents results of field reliability tests of sewer systems. The investigated networks are located in a big city. The study covered 1568 km of sewer systems, including a combined network approx. 429 km, a sanitary network approx. 660km storm water network approx. 470 and approx. 9 km of pressure pipelines. The main aims of the research were an estimation and illustration of failures of the sewer system and drain network and pipes on numerical maps of the city. During the investigation, authors estimated the influence of following factors on network's objects failures: the type of a network, pipe's dimension (above and below 300 mm) and material (stoneware, concrete and reinforced concrete, grey cast iron, PVC), season, kind of soil, presence and level of groundwater. For the purposes of failure analysis the relevant research objects were extracted. These objects are the basis for the creation of a GIS database for the management failures. A fragment of the street grid plan indicating the points of failures and their descriptions were posted. Three groups of failure events were defined ie, silting-complete blockage of the flow, obstruction – partially blocking the flow and other events mainly mechanical damages. Analysis of the results showed that nearly three-quarters of all recorded events are obstruction causing disruptions in the flow but not blocking it completely. During the period considered declining trend of failure of sewer systems were observed. The additional effect of the investigation is an elaboration of the network's objects failure risk hierarchy. The greatest risk of failure exists in conditions of sanitary drains with dimensions less than 300 mm, located in glacial and water-glacial sands with groundwater level lower than 5 m below terrain.

**Keywords:** reliability, sewer system, failure factors, GIS

*Przesłano do redakcji: 18.12.2015 r.*

*Przyjęto do druku: 28.03.2015 r.*

DOI: 10.7862/rb.2015.13