

Ryzyko podtopień sieci kanalizacyjnych spowodowanych występowaniem osadów w kanałach

Risk of flooding of sewer pipelines caused by deposits in sewer

EMILIA KULICZKOWSKA

DOI 10.36119/15.2023.6.7

Zaproponowano metodę wyznaczania ryzyka podtopień sieci kanalizacyjnych spowodowanych wystąpieniem osadów w kanałach. Podano przyczyny występowania podtopień przewodów kanalizacyjnych. Zamieszczono wyniki badań CCTV wykonanych przez Politechnikę Świętokrzyską, dotyczących występowania osadów kanalizacyjnych w kanałach betonowych, kamionkowych i wykonanych z rur PVC wraz z propozycją ilościowej ich oceny. Ustalono kategorie prawdopodobieństwa podtopień przewodów kanalizacyjnych, kategorie konsekwencji wystąpienia awarii oraz miary ryzyka podtopienia przewodów kanalizacyjnych.

Słowa kluczowe: przewody kanalizacyjne, osady, prawdopodobieństwo, konsekwencje, ryzyko awarii

A method of determining the risk of flooding of sewer pipelines caused by the occurrence of deposits in sewers has been proposed. The causes of flooding of sewage pipes were listed. The results of CCTV studies carried out by the Kielce University of Technology on the occurrence of sewer deposits in concrete, vitrified clay and PVC pipes, together with a proposal for their quantitative assessment, are given. Probability categories of flooding of sewer pipelines, categories of failure consequences and the risk of flooding of sewer are determined.

Keywords: sewers, deposits, probability, consequences, risk of failure

Wstęp

Stan techniczny przewodów wodociągowych oraz kanalizacyjnych, a także inne czynniki mające wpływ na konsekwencje ich awarii, decydują o kolejności typowania przewodów do określonych robót eksploatacyjnych lub bezwypadkowej odnowy (naprawy, rehabilitacji czy wymiany). Stąd problematyka ryzyka awarii [2,14,15] znajduje coraz szersze zastosowanie w przypadku różnych analiz, dotyczących przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych. Dzieje się tak dlatego, ponieważ ryzyko uwzględnia zarówno prawdopodobieństwo wystąpienia awarii, jak również konsekwencje jej wystąpienia.

Jako definicję miary ryzyka awarii, w odniesieniu do eksploatowanych przewodów kanalizacyjnych, przyjęto iloczyn miary prawdopodobieństwa wystąpienia awarii, spowodowanych wystąpieniem i -tego lub i -tych uszkodzeń i miary j -tych konsekwencji spowodowanych ich zaistnieniem. Z kolei awarię nazwano wystąpienie w przewodzie kanalizacyjnym i -tego

uszkodzenia o wielkości kwalifikującej go do jednej z zaproponowanych poniżej pięciu kategorii prawdopodobieństwa wystąpienia awarii.

Zaproponowana metoda wyznaczania ryzyka została opracowana w oparciu o studia literaturowe i własne analizy stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych [3], zbadanych techniką CCTV przez Politechnikę Świętokrzyską. Problemy związane z badaniami przewodów kanalizacyjnych techniką CCTV oraz dokonywanymi w oparciu o nie ocenami ich stanu technicznego zaprezentowano m.in. w [4,10,13]. Zawiera ona metodę ustalania kategorii prawdopodobieństwa awarii przewodów kanalizacyjnych, zaprezentowaną m.in. w [5] w odniesieniu do betonowych przewodów kanalizacyjnych, metodę ustalania kategorii konsekwencji awarii, zaprezentowaną m.in. w [6] w odniesieniu do analizy awarii korodujących przewodów betonowych, a także metodę wyznaczania ryzyka awarii konstrukcyjnej przewodów kanalizacyjnych, zaprezentowaną m.in. w [7] w analizie

zapadnięć nawierzchni ulicznych, spowodowanych awariami przewodów kanalizacyjnych, czy w [8] w analizie zjawiska przerastania korzeni drzew do wnętrza przewodów kanalizacyjnych.

Kategorie prawdopodobieństwa awarii przewodów kanalizacyjnych można wyznaczać dla jednego dominującego uszkodzenia, jak to uczyniono w [6], tj. dla zjawiska korozji rur betonowych. Można także ustalać kategorie prawdopodobieństwa awarii przewodów kanalizacyjnych, zarówno konstrukcyjnej (np. w [5]), jak i eksploatacyjnej (np. w [9]), biorąc pod uwagę kolejno wszystkie możliwe uszkodzenia konstrukcyjne i eksploatacyjne.

Dzięki ustaleniu wartości numerycznych kategorii prawdopodobieństwa i kategorii konsekwencji awarii w zaproponowanych wektorach czy macierzach, możliwe jest wdrożenie zaproponowanej metody w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych. Pozwoliłoby im to efektywnie zarządzać stanem technicznym przewodów kanalizacyjnych.

dr hab. inż. Emilia Kuliczowska, prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej, Kielce. Adres do korespondencji/ Corresponding author: emkulicz@tu.kielce.pl

Uszkodzenia i nieprawidłowości wewnątrz-kanatowe mające wpływ na występowanie podtopień sieci kanalizacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem osadów kanatowych

Bazując na wynikach badań CCTV wykonywanych przez Politechnikę Świętokrzyską, a obejmujących swym zakresem ponad 14 km betonowych przewodów kanalizacyjnych, ponad 14 km przewodów kamionkowych oraz ponad 11 km przewodów wykonanych z rur PVC, a także na wykonanych ekspertyzach konstrukcyjnych [12], zidentyfikowano zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji przewodów kanalizacyjnych, spowodowane uszkodzeniami konstrukcyjnymi, mogącymi wystąpić w przewodach kanalizacyjnych. Są nimi: ścieralność dna, korozja, pęknięcia podłużne, poprzeczne i ukośne, ubytki fragmentów konstrukcji, deformacja spękanych fragmentów ścian kanału, ponadnormatywne ugięcie wierzchołka rur podatnych, utrata stateczności powłoki rur i lokalne wgniecenia. Zidentyfikowano także uszkodzenia stwarzające zagrożenia eksploatacyjne i środowiskowe. Są nimi: osady denne przemieszczające się i stałe, przeraśnięte korzenie drzew, przykanaliki wystające do wnętrza kanału, inne przewody ułożone w poprzek przekroju poprzecznego, nieprawidłowe (z uwagi na rodzaj ścieków) podłączenie przykanalików, infiltracja wody gruntowej, narosty infiltracyjne, przemieszczenia rur podłużne i poprzeczne.

Wymienione wyżej uszkodzenia i nieprawidłowości kanatowe stwarzają różnorakie zagrożenia środowiskowe [1], w tym niektóre z nich mają wpływ na występowanie podtopień sieci kanalizacyjnych. Przedmiotem poniższej analizy jest wpływ osadów kanatowych na wystąpienie ryzyka podtopień sieci kanalizacyjnych.

Zaproponowano pięć kategorii prawdopodobieństwa wystąpienia osadów kanatowych zróżnicowanych procentowym ich udziałem w przekroju poprzecznym kanału. Na rys.1 i 2 pokazano kolejno osady ruchomy (z_p) i stały (z_s) występujące w przewodzie kanalizacyjnym:

- osad ruchomy stanowiący np. piasek z podłoża, grunt z otoczenia zewnątrzkanalowego, kamienie czy zanieczyszczenia organiczne, opisany został wektorem $\bar{z}_p = [z_{p1}, z_{p2}, \dots, z_{p5}]$, gdzie: $z_{p1}, z_{p2}, \dots, z_{p5}$ – długości analizowanego odcinka przewodu kanalizacyjnego [m], na którym osad ruchomy oznaczony symbolem z_p i wyrażony w procentach zajętego przekroju poprzecznego przewodu, spełnia ko-

lejno zależności: $z_p < 5$, $5 \leq z_p < 20$, $20 \leq z_p < 35$, $35 \leq z_p < 50$, $z_p \geq 50$,
 – osad stały stanowiący np. stwardniały cement, beton, zaprawy czy bitum, opisany został wektorem $\bar{z}_s = [z_{s1}, z_{s2}, \dots, z_{s5}]$, gdzie: $z_{s1}, z_{s2}, \dots, z_{s5}$ – długości analizowanego odcinka przewodu kanalizacyjnego w [m], na których osad stały oznaczony symbolem z_s i wyrażony w procentach zajętego przekroju poprzecznego przewodu spełnia kolejno zależności: $z_s < 5$, $5 \leq z_s < 20$, $20 \leq z_s < 35$, $35 \leq z_s < 50$, $z_s \geq 50$.



Rys. 1. Osad ruchomy w przewodzie kanalizacyjnym zakwalifikowany do IV kategorii prawdopodobieństwa awarii, $35 \leq z_p < 50\%$, (zdjęcie własne)
 Fig. 1. Mobile deposit in sewer classified to IV category of failure probability, $35 \leq z_p < 50\%$, (own photo)



Rys. 2. Osad stały w przewodach kanalizacyjnych zakwalifikowany do II kategorii prawdopodobieństwa awarii, $5 \leq z_s < 20\%$ (zdjęcie własne)
 Fig. 2. Solid deposit in sewer classified to II category of failure probability, $5 \leq z_s < 20\%$ (own photo)

Istnieją różne przyczyny pojawiania się osadów w przewodach kanalizacyjnych. W zależności od rodzaju kanalizacji: deszczowa, ogólnospławna czy sanitarna, osad mogą stanowić cząstki organiczne i nieorganiczne, w większości splukiwane do kanalizacji przez mieszkańców oraz przedostające się przez otwory we włączach kanalizacyjnych czy poprzez nieuszczelnienia istniejące w przewodach i studniach kanalizacyjnych. Zdarzało się również zauważyć w trakcie wykonywanych badań, że mieszkańcy sąsiadujących z kanałem budynków wyrzucali do studni kanalizacyjnych śmieci czy popiół z pieców opalanych węglem.

Zaobserwowane osady stałe stanowiły z kolei zaprawy cementowe, wapienne czy gipsowe splukiwane przez toalety do kanalizacji w trakcie tzw. wykańczania mieszkań w nowo oddawanych budynkach mieszkalnych czy w trakcie dokonywania ich remontów. Zdarzały się także osady z betonu lub bitumu wlewane przez drogowców do kanalizacji w trakcie wykonywania nawierzchni drogowych.

Czynnikiem powodującym występowanie osadów kanatowych są także niewłaściwe spadki podłużne przewodów kanalizacyjnych, powstałe wskutek nieprawidłowego wbudowania przewodów kanalizacyjnych. Mogą to być zbyt małe spadki podłużne, nie gwarantujące samooczyszczania się kanałów z osadów lub tzw. niecki (siodła) na trasie kanału między studniami kanalizacyjnymi.

Na powstawanie osadów często ma wpływ również przewymiarowanie przekrojów poprzecznych rur kanalizacyjnych. Po opomiarowaniu zużycia wody przez mieszkańców, głównie w latach 90. ubiegłego wieku, znacznemu zmniejszeniu uległa ilość odprowadzanych do kanalizacji ścieków sanitarnych przy jednoczesnym wzroście w nich ilości cząstek stałych, sprzyjającej odkładaniu się osadów. W przypadku przewodów kanalizacyjnych deszczowych czy ogólnospławnych występował często trend odwrotny. Wskutek urbanizacji terenów miejskich i związanego z tym zwiększania się terenów utwardzanych, zwiększała się ilość ścieków deszczowych. Dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na odkładanie się osadów w tych kanałach jest często spotykane w miastach zbyt wysokie usytuowanie trawników wokół pasm ulicznych, ponad wysokość krawężników. Wszelkie zanieczyszczenia z trawników łącznie z cząsteczkami gruntu są wtedy w czasie opadów deszczowych splukiwane do wnętrza przewodów kanalizacyjnych.

Analiza ilościowa dotycząca występowania osadów w przewodach kanalizacyjnych

Zespół badawczy Politechniki Świętokrzyskiej wykonywał począwszy od 1991 roku badania CCTV przewodów kanalizacyjnych na terenie całego kraju, na łącznej długości ponad 200 km. Dokonywane były analizy różnych zbiorów badań, np. w [3] czy [11]. Poniżej poddano analizie ilościowej osady ruchome i stałe w kanałach betonowych, kamionkowych i z PVC o łącznej długości 40 402,2 m w tym:

- 14 897,1 m przewodów kanalizacyjnych sanitarnych kamionkowych,

- b) 11 388,6 m przewodów kanalizacyjnych sanitarnych z PVC,
- c) 14 116,5 m przewodów kanalizacyjnych betonowych, w tym:
 - sanitarnych 7 725,8 m,
 - deszczowych 3 031,4 m,
 - ogólnospławnych 3 359,3 m.

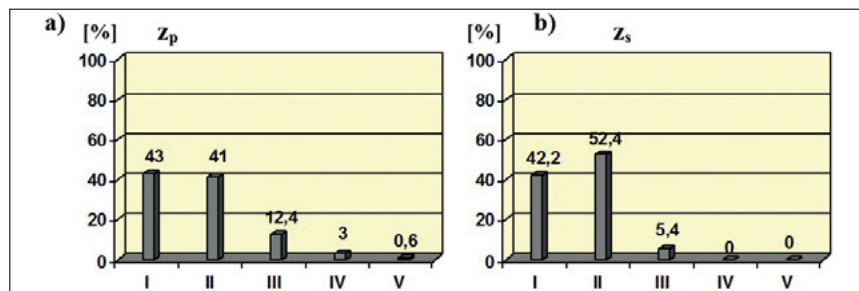
Badania te wykonano na 1162 odcinkach przewodów kanalizacyjnych w 43 miastach.

W kanałach betonowych osad ruchomy zaobserwowano na długości 10 524,1 m (74,5% łącznej długości kanałów betonowych) a osad stały na długości 343,1 m (2,4% długości). W kanałach kamionkowych osad ruchomy zaobserwowano na długości 8972,4 m (60,2% łącznej długości kanałów kamionkowych) a osad stały na długości 135,3 m (0,9% długości). Z kolei w kanałach wykonanych z rur PVC osad ruchomy zaobserwowano na długości 4817,3 m (42,30% łącznej długości kanałów betonowych) a osad stały na długości 252,4 m (2,2% długości).

Na rysunkach poniżej przedstawiono zestawienie osadów ruchomych i stałych zalegających w przewodach kanalizacyjnych betonowych (rys. 3), kamionkowych (rys. 4) i wykonanych z rur PVC (rys. 5) z procentowym ich udziałem w poszczególnych kategoriach prawdopodobieństwa awarii.

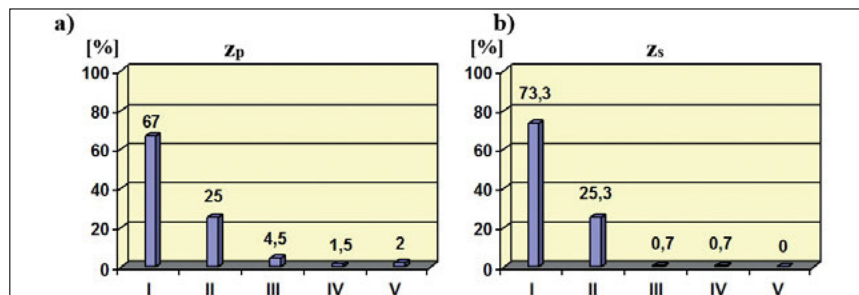
Zamieszczone wykresy wskazują, że:

- najwięcej osadów zajmowało do 20% przekroju poprzecznego kanałów,



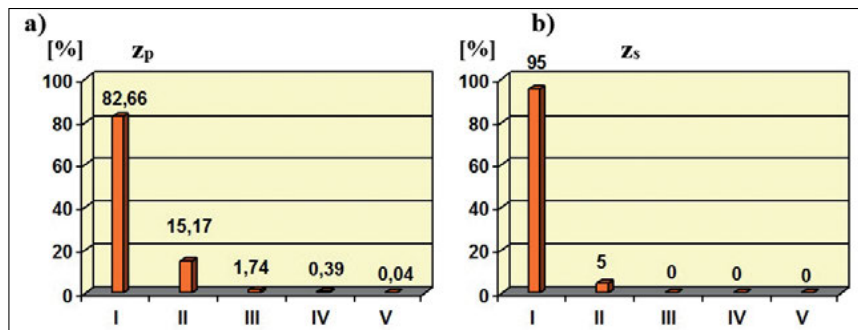
Rys.3. Zestawienie osadów ruchomych (a) i stałych (b) w kanałach betonowych sanitarnych, deszczowych i ogólnospławnych łącznie z ich procentowym udziałem w poszczególnych kategoriach prawdopodobieństwa awarii

Fig.3. Summary of mobile (a) and solid (b) deposits in concrete sanitary, rain water and combined sewers, together with their percentage share in particular categories of failure probability



Rys.4. Zestawienie osadów ruchomych (a) i stałych (b) w kanałach kamionkowych sanitarnych z ich procentowym udziałem w poszczególnych kategoriach prawdopodobieństwa awarii

Fig.4. Summary of mobile (a) and solid (b) deposits in vitrified clay sanitary sewers with their percentage share in particular categories of failure probability



Rys.5. Zestawienie osadów ruchomych (a) i stałych (b) w kanałach sanitarnych wykonanych z rur PVC z ich procentowym udziałem w poszczególnych kategoriach prawdopodobieństwa awarii
Fig.5. Summary of mobile (a) and solid (b) deposits in sanitary sewers made of PVC pipes with their percentage share in particular categories of failure probability

kwalifikując kanały, w których one występowały do I i II kategorii prawdopodobieństwa awarii. W przypadku tych klas ryzyko podtopień jest najniższe.

- wielokrotnie więcej jest w badanych przewodach kanalizacyjnych osadów ruchomych aniżeli stałych.

Jednak koszty usuwania osadów stałych są znacznie wyższe od kosztów usuwania osadów ruchomych.

Ryzyko podtopień

Kategorie prawdopodobieństwa wystąpienia podtopień

Poniżej zaproponowano metodę wyznaczania kategorii prawdopodobieństwa wystąpienia podtopień w przewodach ka-

nalizacyjnych spowodowanych występowaniem w nich osadów ruchomych i stałych. Zaproponowano zestawienie osadów ruchomych i stałych w formie macierzy $[P^E]$:

$$[P^E] = \begin{bmatrix} p_{1,1}^E & p_{1,2}^E & \dots & p_{1,j}^E & \dots & p_{1,n}^E \\ p_{2,1}^E & p_{2,2}^E & \dots & p_{2,j}^E & \dots & p_{2,n}^E \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie:

$p_{1,n}^E$ - element macierzy stanowiący najniższą wielkość osadu ruchomego przyjętą z przedziału $[p_{1,j}, p_{1,j+1})$, wyrażoną w %, dla j -tej kategorii prawdopodobieństwa wystąpienia podtopienia przewodu kanalizacyjnego,

$p_{2,n}^E$ - element macierzy stanowiący najniższą wielkość osadu stałego przyjętą z przedziału $[p_{1,j}, p_{1,j+1})$, wyrażoną w %, dla j -tej kategorii prawdopodobieństwa wystąpienia podtopienia przewodu kanalizacyjnego,

n - liczba kategorii prawdopodobieństwa podtopienia przewodu kanalizacyjnego.

Przyjęto pięć kategorii prawdopodobieństwa podtopienia przewodu, od wysoce nieprawdopodobnego ($j = 1$), poprzez nieprawdopodobne ($j = 2$), częściowo prawdopodobne ($j = 3$), prawdopodobne ($j = 4$) do wysoce prawdopodobnego ($j = 5$).

Badania przewodów kanalizacyjnych wykonane metodą CCTV przy zastosowaniu specjalistycznych kamer, które w trakcie przemieszczania się wnętrzem przewodów umożliwiają rejestrację obserwowanych osadów, dostarczają wyniki w postaci ich wielkości. Wyniki te są podstawą do ustalenia składowych wektora wielkości osadów $[F^L]$, opisanego wzorem (2):

$$[F^L] = [f_1^L, f_2^L] \quad (2)$$

gdzie:

f_i^L - i -ta składowa wektora $[f^L]$ podająca maksymalną wielkość i -tego osadu ($i = 1$ dla osadu ruchomego,

$i = 2$ dla osadu stałego) uzyskaną z badań CCTV analizowanego odcinka przewodu kanalizacyjnego, wyrażoną w %.

Posiadając zestawione w wektorze $[F]$ wielkości największych i -tych osadów oraz bazując na zaproponowanych w macierzy $[P^E]$ zasadach ustalania j -tych kategorii prawdopodobieństwa awarii, w zależności od wielkości i -tych osadów, możliwe jest ustalenie wektora kategorii prawdopodobieństwa podtopienia przewodu kanalizacyjnego dla każdego i -tego osadu i zapisanie go w postaci wektora $[C^L]$:

$$[C^L] = [c_1^L, c_2^L] \quad (3)$$

gdzie:

c_i^L – i -ta składowa wektora $[C^L]$ podająca kategorię prawdopodobieństwa awarii podtopienia przewodu kanalizacyjnego ustaloną dla i -tego osadu ($i = 1$ dla osadu ruchomego, $i = 2$ dla osadu stałego).

W następnej kolejności ustala się ze wzoru (4) kategorię m_p prawdopodobieństwa podtopienia przewodu kanalizacyjnego równą największej spośród wszystkich kategorii zawartych w wektorze $[C^L]$:

$$m_p = \max c_i^L \quad (4)$$

Kategorię m_p ustalono przyjmując założenie, że poddany analizie przewód kanalizacyjny jest poprawnie zwymiarowany pod względem hydraulicznym, biorąc pod uwagę występujące w nim aktualne przepływy ścieków, a na ewentualne podtopienie przewodu ma wpływ wyłącznie osad denny. W przypadku, gdyby analiza zlewni wykazała, że przewód kanalizacyjny jest niedowymiarowany pod względem hydraulicznym, należałoby kategorię m_p odpowiednio zwiększyć w zależności od stopnia niedowymiarowania maksymalnie do wartości 5,0.

Opisana wyżej metoda ustalania kategorii prawdopodobieństwa podtopienia przewodów kanalizacyjnych umożliwia typowanie do odnowy w pierwszej kolejności te przewody, które zostały zakwalifikowane do najwyższej kategorii prawdopodobieństwa wystąpienia podtopienia.

Kategorie konsekwencji wystąpienia podtopień

W zaproponowanej metodzie jako kryterium planowania usuwania osadów kanałowych przyjęto nie kryterium kategorii prawdopodobieństwa podtopienia kanałów, lecz kryterium ryzyka wystąpienia podtopień. Stąd wyłoniła się potrzeba opracowania metody umożliwiającej wy-

znaczanie kategorii konsekwencji wystąpienia podtopień. Przykładowo konsekwencje podtopienia przewodu kanalizacyjnego o niewielkiej średnicy, głęboko ułożonego pod powierzchnią terenu zielonego są zupełnie inne, niż przewodu kanalizacyjnego o dużej średnicy, ułożonego płytko pod nawierzchnią ulicy o dużym natężeniu ruchu. Studia literaturowe stanowiły podstawę do identyfikacji możliwych konsekwencji podtopień kanalizacyjnych. Zaproponowano następującą macierz $[K]$ konsekwencji wystąpienia podtopień przewodów kanalizacyjnych:

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \dots & k_{1,i} & \dots & k_{1,m} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \dots & k_{2,i} & \dots & k_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{i,1} & k_{i,2} & \dots & k_{i,i} & \dots & k_{i,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n,1} & k_{n,2} & \dots & k_{n,i} & \dots & k_{n,m} \end{bmatrix} \quad (6)$$

gdzie:

- $k_{i,j}$ – element macierzy konsekwencji wystąpienia podtopień przewodów kanalizacyjnych wyrażony w mm, m albo wartościach liczbowych (liczby od 1 do n), dla i -tego czynnika mającego wpływ na konsekwencje podtopień przewodu kanalizacyjnego i j -tej kategorii konsekwencji,
- n – liczba czynników mających wpływ na konsekwencje podtopień przewodu kanalizacyjnego,
- m – liczba kategorii konsekwencji wystąpienia podtopień.

W zaproponowanej metodzie przyjęto $m = 5$ kategorii konsekwencji: $j = 1$ nieistotne, $j = 2$ marginalne, $j = 3$ znaczne, $j = 4$ poważne i $j = 5$ bardzo poważne.

W macierzy $[K]$ zestawiono $n = 11$ czynników mających wpływ na końcową miarę k_K konsekwencji podtopienia przewodu kanalizacyjnego. Są nimi: średnica kanału ($i = 1$), głębokość posadowienia ($i = 2$), rodzaj gruntu nad kanałem ($i = 3$), funkcja jaką pełni kanał w systemie kanalizacyjnym ($i = 4$), posadowienie przewodu kanalizacyjnego w odniesieniu do poziomu zwierciadła wody gruntowej ($i = 5$), rodzaj nawierzchni ulicznej, pod którą posadowiony jest kanał ($i = 6$), natężenie ruchu ulicznego ($i = 7$), lokalizacja przewodu kanalizacyjnego: tereny zielone, rodzaj zabudowy w sąsiedztwie, lokalizacja np. pod rzeką, torami kolejowymi, pasem startowym na lotnisku itp. ($i = 8$), występowanie zjawiska cofki lub podtopień ($i = 9$), możliwość dostępu do przewodu kanalizacyjnego celem dokonania jego naprawy ($i = 10$), oddziaływanie przewodu kanali-

zacyjnego na środowisko, w tym głównie możliwość skażenia wód gruntowych przez eksfiltrujące ścieki sanitarne z kanału do gruntu ($i = 11$). Wielkości liczbowe opisujące konsekwencje wystąpienia podtopień dla konkretnego analizowanego przewodu kanalizacyjnego zapisywane są w wektorze $[F]$:

$$[F] = [f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n] \quad (7)$$

gdzie:

f_i – i -ta składowa wektora $[F]$ zawierająca wartość liczbową przypisaną i -temu czynnikowi w macierzy $[K]$ dla analizowanego przewodu kanalizacyjnego.

Posiadając dane liczbowe zawarte w wektorze $[F]$ oraz bazując na zaproponowanych w macierzy $[K]$ zasadach ustalania j -tych kategorii konsekwencji wystąpienia podtopień dla i -tych czynników, mających wpływ na konsekwencje awarii, można ustalić składowe wektora kategorii konsekwencji podtopień przewodu kanalizacyjnego $[s]$ opisanego wzorem:

$$[s] = [s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n] \quad (8)$$

gdzie:

s_i – i -ta składowa wektora $[s]$ podająca kategorię konsekwencji podtopień i -tego czynnika mającego wpływ na konsekwencje podtopień.

Biorąc pod uwagę fakt, iż duża liczba i -tych czynników ma wpływ na ostateczną ocenę konsekwencji podtopień przewodów kanalizacyjnych, oraz że istnieją zróżnicowane preferencje różnych decydentów w odniesieniu do wpływu analizowanych czynników na ustalenie ostatecznej wartości miary konsekwencji m_K zaproponowano, aby była ona ustalana w oparciu o wzór (9):

$$m_K = \sum_{i=1}^n s_i \cdot w_i \quad (9)$$

gdzie:

w_i – i -ta składowa wektora $[w] = [w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n]$ zawierająca wyrażoną w procentach wagę przyporządkowaną i -temu analizowanemu czynnikowi mającemu wpływ na konsekwencje awarii przy założeniu, że $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Ryzyko wystąpienia podtopień

Miarę ryzyka wystąpienia podtopień, zgodnie z definicją zawartą w [14] wyznacza się ze wzoru (10) jako iloczyn miary kategorii prawdopodobieństwa podtopienia i miary konsekwencji:

$$r = m_p \cdot m_k \quad (10)$$

Ustalona w ten sposób miara ryzyka umożliwiła planowanie czyszczenia przewodów kanalizacyjnych poczynając od tych, dla których jest ona największa.

W przypadku bardzo dużej miary ryzyka ($r \geq 20$) zaproponowano podjęcie natychmiastowych działań w zakresie usuwania osadów z przewodu kanalizacyjnego. W przypadku dużej miary ryzyka ($12 \leq r < 20$) zaproponowano podjęcie działań w okresie krótkoterminowym, przy średniej mierze ryzyka ($8 \leq r < 12$) w okresie średnioterminowym, a przy mierze ryzyka niskiej ($4 \leq r < 8$) w okresie długoterminowym. W przypadku bardzo niskiej miary ryzyka ($r < 4$) założono, że czyszczenie przewodów kanalizacyjnych nie jest wymagane.

Przykład obliczeniowy

Przyjęto występowanie tylko osadu zmiennego w ilości pokazanej na rys. 1.

Zatem $F^L = [40, 0]$, $C^L = [4, 1]$ oraz $m_p = 4$.

Macierz konsekwencji awarii ustalana jest indywidualnie dla każdego systemu kanalizacyjnego. W celu jej utworzenia niezbędna jest wiedza o wszystkich 11 czynnikach wymienionych w punkcie dotyczącym kategorii wystąpienia podtopień, w tym m.in. o zakresie średnic kanałów (minimalna i maksymalna średnica kanału), o minimalnym i maksymalnym zagłębieniu kanałów itd.

Dla przedmiotowego kanału (m.in. średnica kanału 200 mm, głębokość 2,5 m, ...) przyjęto następujące dane w wektorze s:

$$[s] = [1, 5, 1, 5, 1, 5, 4, 4, 4, 3, 4]$$

oraz następujące ich wagi w:

$$[w] = [0,15; 0,15; 0,02; 0,2; 0,02; 0,02; 0,04; 0,1; 0,1; 0,1; 0,1]$$

$$m_k = 3,70$$

Ryzyko $r = 4 \times 3,70 = 14,80$, ryzyko jest duże, stąd też konieczne jest podjęcie działań (oczyszczenie kanału z osadów) w okresie krótkoterminowym.

Uwagi końcowe

Osady kanalizacyjne, podobnie jak inne przeszkody w przepływie ścieków, na przykład korzenie drzew przerastające do wnętrza kanałów, wystające przykanaliki, stwarzają ryzyko wystąpienia podtopień przewodów kanalizacyjnych i ich pracy pod ciśnieniem. Może to powodować podtapianie przykanalików, wypływanie ścieków przez studzienki kanalizacyjne na powierzchnię terenu nad kanałami, czy skażenie wód gruntowych wskutek zwiększonej filtracji ścieków z nieszczelnych kanałów i studni kanalizacyjnych do gruntu. Stąd też niezwykle ważne jest zapobieganie tym zdarzeniom poprzez planowe wykonywanie badań i ocen stanu technicznego przewodów [4, 10, 13]. Istotne jest także eliminowanie wymienionych wcześniej przyczyn powodujących powstawanie osadów.

Zaprezentowane badania CCTV przewodów kanalizacyjnych wskazują że, osady kanalizacyjne zaobserwowano w zależności od rodzaju wbudowanych rur na długości kanałów wynoszącej od 42,3% do 74,5%. Mimo, iż w większości przewodów kanalizacyjnych osady zajmują niewielką część przekroju poprzecznego kanałów, na co wskazują wykresy pokazane na rysunkach 3-5, to ich wpływ na ryzyko wystąpienia podtopień jest znaczny, z uwagi na niekorzystny wpływ osadów na parametry hydrauliczne przewodów kanalizacyjnych.

LITERATURA

- [1] Dąbrowski W.: Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko, Politechnika Krakowska, Kraków, 2004.
- [2] Królikowska J.: Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej, monografia 382, Politechnika Krakowska, Kraków, 2010.

- [3] Kuliczowska E.: Kryteria planowania bezwzględnej odnowy nieprzelazowych przewodów kanalizacyjnych, monografia nr M3, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2008.
- [4] Kuliczowska E.: Propozycja 4-ro etapowej inspekcji przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 10, 53-56, 2011, <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BBW3-0089-0032>
- [5] Kuliczowska E.: Analysis of defects with a proposal of the method of establishing structural failure probability categories for concrete sewers, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 15 (4), 1078-1084, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.acme.2015.02.002>
- [6] Kuliczowska E.: Risk of structural failure in concrete sewers due to internal corrosion, Engineering Failure Analysis, 66, 110-119, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.04.026>
- [7] Kuliczowska E.: The interaction between road traffic safety and the condition of sewers laid under roads, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 48, 203-213, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.025>
- [8] Kuliczowska E., Parka A.: Management of risk of environmental failure caused by tree and shrub root intrusion into sewers, Urban Forestry & Urban Greening, 21, 1-10, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.001>
- [9] Kuliczowska E.: Environmental and structural risk assessment of long operated vitrified clay sewers, Environment Protection Engineering, 44 (2), 53-67, 2017, DOI: 10.37190/epe170205
- [10] Kuliczowska E.: Jak planować inspekcje i rehabilitacje przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 11, 70-74, 2017, <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-12319f20-6491-4053-af84-2a0d6acc9b66>
- [11] Kuliczowska E., Bağa K.: Wyniki badań techniką wideo długo eksploatowanych przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 7-8, 51-56, 2018, <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-409a024c-dd91-4e7b-bc8d-de89f463f7c7>
- [12] Kuliczowski A., Kuliczowska E.: Ekspertyzy konstrukcyjne kolektorów kanalizacyjnych, Gaz Woda i Technika Sanitarna, 1, 18-22, 2011, <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPP4-0001-0012>
- [13] Madryas C., Przybyła B., Wysocki L.: Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2010.
- [14] Rak J. R.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2004.
- [15] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Studziński A., Pietrucha-Urbaniak K., Boryczko K.: Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2012.