

Nagły zawał kanału deszczowego – wpływ na ludzkie życie i środowisko

Sudden collapse of a storm drain – impact on human life and the environment

Małgorzata Kutylowska, Wojciech Cieżak^{*)}

Słowa kluczowe: inspekcja telewizyjna, kanalizacja grawitacyjna, katastrofa budowlana, stan techniczny

Streszczenie

W pracy zaprezentowano jedną wybraną awarię betonowego nieprzełazowego kanału deszczowego, która obserwowana była „na żywo”, podczas wykonywania rutynowej inspekcji telewizyjnej. Opisana katastrofa budowlana wystąpiła w chwili, gdy na powierzchni terenu nikogo nie było, w przeciwnym wypadku skutki mogłyby być tragiczne. Jak pokazała analiza całego filmu, badany odcinek był niemal na całej długości popękany, a ściany skorodowane. Badanie dna było utrudnione, z uwagi na wypełnienie ściekami, ale miejscowe zapadnięcie się dolnej części konstrukcji może wskazywać albo na degradację betonu albo na długotrwałe podmywanie dna przez wody gruntowe, których poziom w danym rejonie jest wysoki. Celem opracowania jest wskazanie istotności badań eksploatacyjnych, wykonywanych regularnie, aby przynajmniej zminimalizować częstotliwość pojawiania się całkowitego zniszczenia konstrukcji, mającego wpływ na zdrowie ludzi i lokalne środowisko naturalne. Podczas inspekcji zaobserwowano pęknięcia konstrukcji, erozję dna i znaczącą korozję.

Keywords: TV inspection, gravity sewage, construction disaster, technical condition

Abstract

The paper presents a selected failure of a non-accessible concrete stormwater sewer, which was observed "live" during a routine CCTV inspection. The described structural failure occurred when no one was present on the surface, but in the opposite situation, the consequences could have been tragic. As the analysis of the entire footage revealed, the examined section was cracked almost along its entire length, and the walls were corroded. Inspecting the bottom was challenging due to wastewater accumulation, but the local collapse of the lower part of the structure may indicate either concrete degradation or prolonged undermining of the bottom by groundwater, which is high in this area. The aim of the study is to highlight the importance of regular operational inspections to at least minimize the frequency of complete structural failures, which impact human health, urban system and the local natural environment. During the inspection, structural cracks, bottom erosion, and significant corrosion were observed.

1. Wprowadzenie

Inspekcja telewizyjna (w żargonie inżynierskim nazywana także kamerowaniem), służy do oceny stanu technicznego wnętrza kanału i obserwacji, w odstępach czasu, zmiany rozmiarów i charakteru uwidocznionych uszkodzeń i nieprawidłowości [7]. Metodyka ta jest z powodzeniem szeroko stosowana w Polsce i na świecie przez ostatnie kilkadziesiąt lat [6, 10], a jej rozwój wynika nie tylko z możliwości użytkowania coraz lepszych kamer cyfrowych, ale również z postępu, który dokonał się w zakresie analizy obrazu (obecnie coraz częściej z wykorzystaniem szeroko pojętej techniki software) [14], co pozwala na dokładniejszą ocenę obserwowanych nieprawidłowości i uszkodzeń wnętrza przewodu. Jednak, jak pokazuje opisana w tym opracowaniu przykładowa sytuacja awaryjna, sama inspekcja wewnętrzna może nie być wystarczająca, gdyż stan konstrukcji należy oceniać całościowo, również ze względu na konieczność zaproponowania adekwatnej metodyki naprawy, rekonstrukcji lub wymiany [7]. Badaniom przy użyciu metody video poddawane są wszystkie

rodzaje grawitacyjnych systemów kanalizacyjnych (sieci rozdzielcze i ogólnospławne) użytkowane już wiele lat, jak i kanały oddawane do eksploatacji, jako nowe lub po naprawie. Wiedza na temat stanu technicznego i awaryjności każdego rodzaju przewodu (kolektory i kanały boczne) jest istotna z punktu widzenia eksploatatora sieci, choć skutki wywołane uszkodzeniem lub wręcz katastrofą są zróżnicowane, w zależności od rangi kanału, jak i zagospodarowania na powierzchni terenu i mogą wpływać na środowisko naturalne oraz na zdrowie ludzi.

Znacząca zmiana struktury opadów i ich intensywności, która dokonała się w ciągu ostatnich kilku dekad, wpływa na konieczność szczególnego zadbania o szeroko rozumianą infrastrukturę hydrotechniczną, co uwiidocznily i uwypukliły tragiczne doświadczenia z połowy września 2024 r. Poza typowymi budowlami i urządzeniami hydrotechnicznymi spełniającymi rolę przeciwpowodziową, również istotne są także elementy infrastruktury komunalnej, zwłaszcza systemy odwodnień, które w swoim założeniu powinny chronić, zarówno

* Małgorzata Kutylowska, dr hab. inż., prof. uczelni, e-mail: malgorzata.kutylowska@pwr.edu.pl (autor korespondencyjny), ORCID: 0000-0001-8425-9041, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław; Wojciech Cieżak, dr inż., e-mail: wojciech.ciezak@pwr.edu.pl, ORCID: 0000-0001-6210-8728, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

środowisko naturalne, jak i ludzi narażonych niejednokrotnie na borykanie się ze skutkami napięć. Zmiany metodologii projektowania i wymiarowania sieci deszczowych są jednym z wdrażanych w ostatnich latach sposobów na ograniczenie liczby napięć i wylań ścieków deszczowych, lecz z reguły dotyczy to nowobudowanych fragmentów systemów. Natomiast zdecydowana większość kanałów deszczowych została oddana do użytku wiele lat temu i może obecnie nie spełniać wymogów właściwego odwodnienia powierzchni terenu, również z uwagi na zmianę zabudowy i udziału powierzchni szczelnych, zwłaszcza w zwartych centrach miast i miasteczek, gdzie w ciągu ostatnich ok. dwudziestu lat zamieniano zielone skwery na betonowe place. Dlatego właśnie tym bardziej prawidłowa eksploatacja i nadzór nad systemami deszczowymi jawi się jako jedno z kluczowych zadań stojących przed przedsiębiorstwami komunalnymi. Warto nadmienić, że istnieją obszary, gdzie jeszcze nie tak dawno kanalizacja deszczowa nie była pod zarządem miejskiego przedsiębiorstwa wodociągów i kanalizacji, ale inną jednostką samorządowa odpowiadała za nadzór nad tą częścią infrastruktury komunalnej. Fakt ten trochę dziwi z uwagi na przynależność systemów kanalizacyjnych do infrastruktury krytycznej. Jednak takie okoliczności nie występowały często, a sytuacja jest normowana.

Celem pracy jest próba analizy przydatności regularnej inspekcji telewizyjnej kanalizacji i systematycznego monitoringu, w określaniu stanu technicznego przewodów i oszacowaniu potencjalnego zagrożenia dla ludzi i środowiska naturalnego. W celu ilustracji tego zagadnienia zostały ukazane skutki spektakularnej awarii, wręcz katastrofy „na żywo”, która wydarzyła się podczas wykonywania badania wnętrza betonowego kanału deszczowego i została zaobserwowana podczas inspekcji telewizyjnej. W systemach infrastruktury podziemnej istotne są właśnie wnioski z regularnych badań na obiektach rzeczywistych i włączonych do eksploatacji, gdyż wpływ na stan techniczny ma wiele pobocznych czynników, również związanych z naturalnymi procesami powstającymi w gruncie. Natomiast pomiary laboratoryjne mogą tylko wspomagać proces decyzyjny związany z planowanymi naprawami [12], lecz nie powinny być podstawą analiz, gdyż „żywy organizm”, jakim jest system kanalizacyjny, w sytuacji typowej eksploatacji „żyje swoim życiem”, odbiegającym od prawie idealnych warunków laboratoryjnych.

2. Metodyka badań i poligon badawczy

W rozpatrywanym systemie kanalizacyjnym nieprzerwanie od niemal dwudziestu lat, z mniejszym lub większym natężeniem pracy, wykonywana jest inspekcja telewizyjna grawitacyjnych kanałów deszczowych z wykorzystaniem typowego sprzętu (rys. 1). Jednak już kilkanaście lat temu wskazywano (jak wspomniano powyżej), że pełna ekspertyza stanu technicznego powinna być wykonywana nie tylko w oparciu o analizy video, ale również z wykorzystaniem badań geotechnicznych gruntu oraz badań materiału metodami niszczącymi [7], co pozwala na kompleksową ocenę i zaproponowa-



Rys. 1. Przykładowe zdjęcie kamerowozu (materiał własny)
Fig. 1. Example of inspection car (own material)

nie odpowiedniej metodologii renowacji lub rekonstrukcji. Wybór sposobu analizy stanu technicznego infrastruktury podziemnej i tak zawsze zależy od możliwości finansowych, sprzętowych oraz od celu badań niezawodnościowych i wymagań eksploatatora sieci oraz coraz częściej od uregulowań prawnych.

W niniejszym opracowaniu omówieniu poddany zostanie jeden wybrany odcinek betonowego kanału deszczowego o średnicy 0,8 m, jako przykład pokazujący ważkość zagadnienia. Omawiany przypadek jest ciekawy, gdyż rutynowa inspekcja, mająca na celu inwentaryzację sieci, przekształciła się w możliwość sfilmowania „na żywo” całkowitego zaważenia się kanału, którego badanie przebiegało ze spadkiem, a dodatkowo z przeciwległej strony (pod spadek) przewód był czyszczony z nagromadzonych osadów dennych (rys. 2). Co dodatkowo interesujące, w kontekście zagadnienia regularności wykonywanych inspekcji, ten sam odcinek podlegał badaniu i kamerowaniu trzy lata wcześniej i nie został wówczas zaklasyfikowany do naprawy lub wymiany, gdyż nie było takiej konieczności, z uwagi na zaobserwowane jedynie drobne nieprawidłowości. Jednak owo wcześniejsze badanie miało miejsce w czasie, gdy kanalizacja deszczowa nie podlegała administracji przedsiębiorstwa wod-kan i zostało jedynie doraźnie zlecone, z uwagi na zgłoszoną niedrożność jednego z przykanalików w bliskiej odległości od późniejszego miejsca wystąpienia uszkodzenia. Fakt ten uzmysławia, jak ważne jest, aby za zarządzanie infrastrukturą komunalną, a tym samym krytyczną (zwłaszcza w niepewnych i niespokojnych czasach) odpowiadał podmiot do tego przeznaczony, i na cele którego stoi osoba merytorycznie przygotowana, co wpływa m. in. na spójność procesów decyzyjnych łączących w sobie troskę o komfort mieszkańców, zmniejszenie ryzyka wystąpienia katastrofy budowlanej i dbałość o zachowanie w odpowiednim stanie środowiska naturalnego.



Rys. 2. Czyszczenie kanału
(źródło: przedsiębiorstwo
wodociągów i kanalizacji)
Fig. 2. Stormsewer cleaning
(source: municipal company)

Warto wspomnieć, że warunki atmosferyczne w dniu przeprowadzenia wspomnianej inspekcji telewizyjnej (badanie wykonano w połowie czerwca) „nie miały raczej wpływu na tak nagłe wystąpienie wręcz katastrofy budowlanej (zobrazowanej w kolejnej części tego opracowania). Średnia temperatura w tamtym czasie w czerwcu wynosiła ok. 17°C, a suma miesięcznego opadu ok. 110 mm, co jest wartością niewielką w porównaniu do opadów zanotowanych np. w połowie września 2024r. w ciągu zaledwie kilku dób. Potwierdza to tezę, że pogarszanie się stanu technicznego grawitacyjnych systemów kanalizacyjnych nie następuje nagle, lecz jest z reguły procesem długotrwałym, na który ma wpływ wiele czynników zewnętrznych i wewnętrznych; naturalnych i pochodzenia antropogenicznego, co zostało już wielokrotnie wykazane przez badaczy zajmujących się wnikliwie tym zagadnieniem [13, 9]. W tab. 1 i 2 zestawiono podstawowe dane z protokołu inspekcji badanego odcinka i studzienki początkowej, z której dokonywano tzw. kamerowania. Niestety dokładny wiek tego odcinka nie został ustalony. Jednak doświadczenie uczy, że nawet ponad stuletnie murowane kanały są niekiedy w lepszym stanie technicznym, niż te oddane do eksploatacji relatywnie niedawno. Powodów tej sytuacji jest wiele, co również w polskiej literaturze przedmiotu zostało już opisane, wskazując np. na wysoką awaryjność zaledwie kilka

lat po dokonanej wcześniej rehabilitacji [5]. Ponadto doniesienia literaturowe [8] wskazują, że na stan techniczny przewodów betonowych ma wpływ nawet nie tyle wiek, co cechy betonu zwiększające jego odporność na korozję (m. in. zmniejszenie nasiąkliwości, podwyższenie wodoszczelności, zastosowanie cementu i kruszywa odpornego na korozję). Parametry cementu i kruszywa powinny być również dostosowane do panujących warunków gruntowych w otoczeniu przewodu, co niestety nie zawsze jest brane pod uwagę na etapie projektowania lub renowacji. Analizowany odcinek znajduje się w odległości ok. kilkuset metrów od dwóch mniejszych cieków wodnych, jednej rzeki i kilku stawów, co niewątpliwie wpływa na możliwość powstawania uszkodzeń i korozji zwłaszcza, że kanał ułożony jest na głębokości ok. 2,5 m pod powierzchnią terenu, a poziom wód gruntowych na tym obszarze jest wysoki. Zatem czynnik zbyt dużej wilgotności i ogólne otoczenie gruntowe (jak zostało wykazane [3]) jawią się tu jako decydujące, w przeciwieństwie do innych potencjalnych przyczyn wpływających na awaryjność. Przewód zlokalizowany jest na obrzeżach miasta, z dominującą zabudową jednorodziną, pod wąską drogą osiedlową z lokalnie wbudowanymi progami zwalniającymi. Zatem kanał nie był narażony na obciążenia dynamiczne pochodzące od ciężkiego taboru samochodowego, który jest czynnikiem zwiększającym ryzyko wystąpienia awarii, w tym właśnie pęknięć konstrukcji [4].

Tabela 1. Informacje o badanym odcinku kanału deszczowego

Table 1. Information about inspected stormsewer section

Długość pomiaru, m	Długość odcinka, m	Nawierzchnia	Typ Wymiar, m	Materiał	Kierunek pomiaru	Rodzaj badania
14,2	26,4	asfalt jezdnia	kołowy 0,8	beton	ze spadkiem	inwentaryzacja

Tabela 2. Informacje o badanym odcinku kanału deszczowego

Table 2. Information about sewer manhole

Rzędna górna, m	Rzędna dna, m	Średnica, m	Stan techniczny	Materiał	Stopnie zławowe
116,25	113,68	1,0	dobry	beton	stan dobry

3. Wyniki i dyskusja

W tab. 3 zestawiono rodzaje nieprawidłowości w betonowym kanale o średnicy 0,8 m, zaobserwowane podczas inspekcji telewizyjnej do momentu, kiedy było to możliwe, czyli do chwili, w której nastąpiło całkowite zawalenie się konstrukcji badanego odcinka. Z premedytacją stosowane jest pojęcie „nieprawidłowości”, a nie uszkodzenie lub awaria, gdyż w grawitacyjnym systemie kanalizacyjnym nie każda rysa, pęknięcie lub korozja muszą być traktowane jako właśnie awaria, prowadząca do utraty zdolności do pełnienia funkcji przez badany obiekt, czyli w tym przypadku odcinek przewodu kanalizacyjnego. Wynika to ze specyfiki kanałów grawitacyjnych, które przez wiele lat mogą pracować w sposób niemalże prawidłowy, a dopiero nawiązujące się nieprawidłowości skutkują albo koniecznością lokalnej naprawy uszkodzenia albo całkowitą wymianą odcinka, wynikającą z zaistnienia katastrofy, jak to miało miejsce w opisywanym przykładzie. Zatem praca przewodów grawitacyjnych, nawet jeśli jest nieco zaburzona (np. poprzez infiltrację wody gruntowej lub eksfiltrację ścieków do gruntu przez nieuszczelnienie), to nie powoduje utraty pełnienia głównej funkcji kanału, czyli odprowadzenia ścieków do odbiornika (z ewentualnym lokalnym podczyszczaniem ścieków deszczowych przed zrzutem). W przypadku kanalizacji ściekowej lub ogólnospławnej należałoby zastosować bardziej rygorystyczne podejście, gdyż niekontrolowana eksfiltracja ścieków skutkuje skażeniem bakteriologicznym gruntu i wód podziemnych, co wpływa

na stan ekosystemu i zdrowie ludzi. W takiej sytuacji nawet drobne pęknięcia powinny być traktowane jako potencjalne miejsce wypływu ścieków z wnętrza kanału.

Informacje zawarte w tab. 3 pochodzą z protokołu z inspekcji i po wykonaniu badania powinny być poddawane analizie pod kątem rodzaju, czasu i metodologii naprawy lub wymiany danego odcinka sieci. Wybrane nieprawidłowości zestawione w tab. 3 ukazano (jako dokumentację fotograficzną) na rys. 3–7, a na rys. 8 kolejne etapy zawału kanału.

Tabela 3. Wyniki inspekcji odcinka kanału deszczowego

Table 3. Inspection results' of stormwater sewer section

Odległość, m	Nieprawidłowość	Kierunek
0,5	pęknięcie podłużne, < 3 mm	lewo
0,5	korozja ściany	lewo, prawo
1,0	pęknięcie podłużne, < 3 mm	-
1,0	pęknięcie podłużne, > 3 mm	sklepienie
2,6	pęknięcie podłużne, > 3 mm	-
2,6	pęknięcie podłużne, < 3 mm	-
5,6	inkrustacja, przewężenie, < 10%	-
5,6	pęknięcie podłużne, < 3 mm	-
7,7	pęknięcie podłużne, < 3 mm	sklepienie
7,7	infiltracja wody ze złącza	lewo
10,6	pęknięcie podłużne, < 3 mm	-
10,6	pęknięcie podłużne, > 3 mm	sklepienie
10,6	odkształcenie przekroju, < 5%	-
11,9	zapadnięcie dna	-
14,2	zawał	-



Rys. 3. Pęknięcie podłużne w odległości 0,5 m od początku pomiaru (źródło: przedsiębiorstwo wodociągów i kanalizacji)

Fig. 3. Longitudinal crack in distance of 0.5 m from the beginning (source: municipal company)

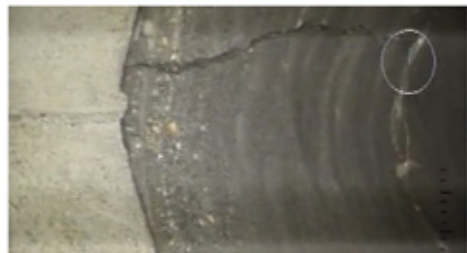
W tym opracowaniu wybrano, z całego filmu z inspekcji trwające ok. 16 minut, jedynie dwa zdjęcia pęknięć betonowej konstrukcji (rys. 3 i 5). Natomiast szczegółowa analiza całego filmu wykazała pęknięcia wzdłużne występujące co kilkadziesiąt centymetrów, właściwie na całej badanej długości sklepienia i ścian bocznych, co świadczy o stanie technicznym kwalifikującym już na tym etapie do renowacji, gdyż miejscami owe nieuszczelnienie miały nawet szerokość 1 cm i również w otoczeniu pęknięć obserwowane były promieniste rysy w konstrukcji. W sytuacji nagłego i niespodziewanego wystąpienia zawału konstrukcji kanału należało zmienić metodologię i technologię na całkowitą wymianę typową metodą wykopową.

Korozja ścian kanału (rys. 4) była obserwowana również niemal na całej badanej długości, miejscami dochodziło do inkrustacji o znacznej grubości (rys. 6), a beton był wypłukiwany, co w konsekwencji w jednym miejscu skutkowało powstaniem zapadnięcia się dna (rys. 7), w której to wyrwie pod lustrem ścieków deszczowych zniknął skrobak czyszczący zilustrowany na rys. 2. Aspekt ten jest o tyle ważny, że kanał badany był w czasie, gdy wypełnienie ściekami wynosiło ok. kilkanaście centymetrów. Zatem gdyby nie nagłe wystąpienie zapadnięcia, niemożliwa byłaby analiza i ocena stopnia degradacji dna.



Rys. 4. Korozja ściany (źródło: przedsiębiorstwo wodociągów i kanalizacji)

Fig. 4. Corrosion of the wall (source: municipal company)



Rys. 5. Pęknięcie podłużne sklepienia w odległości 1,0 m od początku pomiaru (źródło: przedsiębiorstwo wodociągów i kanalizacji)

Fig. 5. Longitudinal crack in vault in distance of 1.0 m from the beginning (source: municipal company)



Rys. 6. Inkrustacja w odległości 5,6 m od początku pomiaru (źródło: przedsiębiorstwo wodociągów i kanalizacji)

Fig. 6. Incrustation in distance of 5.6 m from the beginning (source: municipal company)

Jak wspomniano powyżej, podczas wcześniejszego badania tego odcinka, nie zalecono naprawy, gdyż drobne nieprawidłowości nie zaburzały funkcji kanału. Zatem taka degradacja konstrukcji, jaką ukazano w materiale fotograficznym (zarówno korozja, jak i pęknięcia wzdłużne), powstała w okresie trzech lat pomiędzy inspekcjami. Fakt ten jasno wskazuje na zasadność tezy wspomnianej na początku opracowania, iż regularna inspekcja powinna mieć znaczący wpływ w trakcie analizy stanu technicznego i powinna wynikać z dokładnych planów opracowywanych w przedsiębiorstwach komunalnych,

aby przynajmniej zminimalizować ryzyko pojawienia się nagłych awarii o dużym zasięgu oddziaływania na ludzi i środowisko naturalne. Nie oznacza to jednak możliwości całkowitego wyeliminowania wystąpienia takich katastrof budowlanych, jak opisany zawal kanału. Ponadto, jak zawsze czynnik finansowy odgrywa dużą rolę w podejmowaniu decyzji, czy drobne nieprawidłowości, zaobserwowane podczas jednego badania, uprawniają do wymiany danego odcinka, czy bardziej zasadne jest lokalne przeciwdziałanie powolnemu pogarszaniu się stanu konstrukcji wraz ze spadkiem zdolności hydraulicznych. Zatem wspomniany wcześniej aspekt odpowiedniego



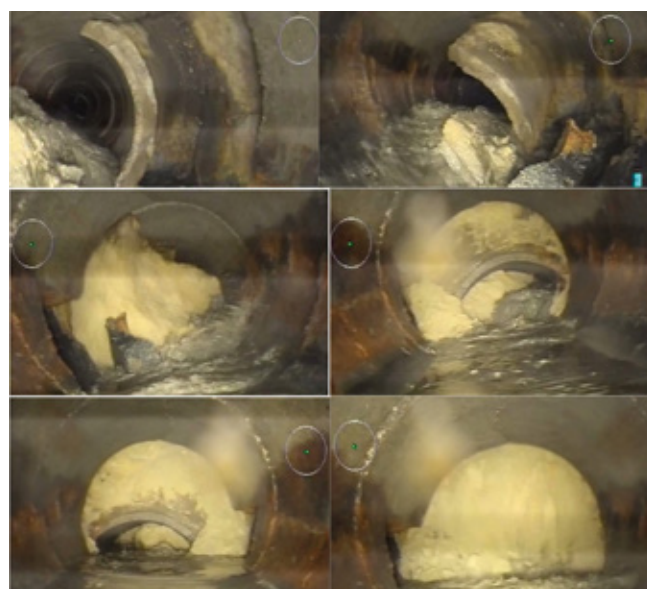
Rys. 7. Zapadnięcie dna w odległości 11,9 m od początku pomiaru (źródło: przedsiębiorstwo wodociągów i kanalizacji)

Fig. 7. Bottom collapse in distance of 11.9 m from the beginning (source: municipal company)

zarządzania finansowego i materiałowego infrastrukturą podziemną przez podmioty do tego uprawnione, a także zarządzania ryzykiem wystąpienia bardziej dotkliwych dla lokalnej społeczności uszkodzeń jest może nawet bardziej kluczowy niż analiza wyłącznie pod kątem hydrauliki działania.

Na rys. 8 ukazano sekwencję wybranych etapów zawalu kanału. Na zdjęciach nie jest możliwe dokładne oddanie rozmiaru tej awarii. Natomiast na filmie wszystko dzieje się w ciągu kilkunastu sekund, a ogromne kawałki betonu odrywają się od całej konstrukcji z taką lekkością, jakby nie istniało już żadne spoiwo cementu i kruszywa. Początkowo w kolejnym już miejscu następuje zapadnięcie się dna, tuż po tym oderwanie się fragmentów ścian, a na koniec zawal sklepienia i zasypanie przekroju gruntem rodzimym (piasek). Być może właśnie taki rodzaj nadsypki nad przewodem był jedną z przyczyn tak rozległego uszkodzenia prowadzącego do konieczności całkowitej wymiany odcinka. Jak wspomniano wcześniej, okoliczny teren charakteryzuje się wysokim poziomem wód gruntowych (niekiedy ulewne deszcze powodują nawet lokalne podtopienia), a drobny piasek jako materiał mniej przepuszczalny (w porównaniu np. do żwiru) gromadzi w sobie (wręcz chłonie) wodę, stając się znaczącym obciążeniem sklepienia kanału. Jeśli takie obciążenie ze zmiennym natężeniem (okresy deszczowe i suche) występowało latami, to mogło ono wpływać bardzo niekorzystnie na zewnętrzną konstrukcję przewodu. Warto zwrócić uwagę, że całkowita erozja dna (rys. 7) nastąpiła też w innym miejscu niż degradacja prowadząca do zawalu odcinka przewodu kanalizacyjnego, co potwierdza przypuszczenia o wręcz fatalnym stanie technicznym na znacznej długości. Taka sytuacja wskazuje na zasadność przeprowadzania planowych inspekcji (na co już od wielu lat zwraca się uwagę w wielu opracowaniach), aby w miarę na bieżąco monitorować zmieniające się warunki panujące wewnątrz, jak i na zewnątrz konstrukcji kanału. Jednakże jak wygląda rzeczywistość eksploatacyjna i czy rzeczywiście realnie jest dokonywanie planowych badań co kilka lat, to już zagadnienie na zupełnie inne opracowanie, gdyż nawet istniejące rozwiązania systemowe napotykać często na przeszkody finansowe i kadrowe.

Czynnikiem wpływającym na awaryjność infrastruktury podziemnej są również lokalnie prowadzone prace budowlane. Jednak w analizowanym przypadku nic takiego nie miało miejsca. Również eksploator nie wskazywał na żadne spektakularne zdarzenia w czasoprzestrzennej okolicy opisywanej awarii. Po całkowitym zawale kanału obserwowana była również cofka ścieków. W tym dniu nie występowały opady, więc ścieki nie wylewały się na powierzchnię terenu. Jednak można sobie wyobrazić, co by się działo, gdyby na czas uszkodzenia nałożył się



Rys. 8. Etapy zawalu kanału (źródło: przedsiębiorstwo wodociągów i kanalizacji)

Fig. 8. Stages of stormsewer collapse (source: municipal company)

nawalny deszcz – nieuniknione byłoby wylanie ścieków deszczowych, a nawet podmycie domów i garaży. Ponadto pomimo tego, że omawiany kanał deszczowy nie przechodzi pod szeroką arterią miejską, to i tak skutki jego zawału mogłyby być tragiczne w sytuacji, gdyby akurat w tym miejscu i czasie ktoś przechodził ulicą lub parkował samochód wzdłuż okolicznego chodnika. Wszystko to pokazuje, że zmniejszanie ryzyka awaryjności infrastruktury podziemnej ma wpływ na zdrowie i życie ludzi oraz na stan środowiska naturalnego.

4. Podsumowanie

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że do tego opracowania zostały udostępnione przez przedsiębiorstwo komunalne wszystkie dostępne informacje eksploatacyjne na temat analizowanego odcinka kanału deszczowego wraz z dokumentacją filmową. Niemożliwe było uzyskanie bardziej szczegółowych danych, jak np.: wiek przewodu, jakość zastosowanych komponentów betonu, częstotliwość pracy pod ciśnieniem i lokalne warunki gruntowo-wodne. Ponadto, wraz z inspekcją telewizyjną przedsiębiorstwo komunalne nie wykonywało badań wytrzymałościowych konstrukcji kanału, co uniemożliwia dokonanie pogłębionej analizy ewentualnych przyczyn konstrukcyjnych tak rozległej katastrofy budowlanej.

Mając na uwadze ograniczenia w pozyskiwaniu danych opisane w p. 2 oraz chcąc uwypuklić pewne konieczne działania wykonywane podczas rutynowych badań inspekcji telewizyjnej, należy zaznaczyć, że warto byłoby podchodzić do tego zagadnienia w sposób bardziej kompleksowy w celu poznania przyczyn rozległych uszkodzeń. Jeśli warunki finansowe i kadrowe na to pozwalają, warto stworzyć w przedsiębiorstwie komunalnym algorytm działania, pozwalający na natychmiastowe działania, umożliwiające miejscowe badania *in situ* (pobranie próbek konstrukcji przewodu, pobranie próbek gruntu rodzimego, określenie poziomu wód gruntowych). Takie podejście zminimalizuje poziom niepewności podczas analizy niezawodnościowej, wspomogł racjonalną eksploatację, a także usprawni proces decyzyjny związany m. in. z koniecznością zaproponowania metodologii wymiany i rodzaj materiału.

Podczas analizy przyczyn powstawania tak spektakularnych zjawisk, jak opisane powyżej, zwłaszcza w kontekście erozji dna, należałoby również rozpatrywać niemal równoległe awarie pobliskiej sieci wodociągowej, gdyż nagły wypływ wody z przewodu ciśnieniowego może skutkować lokalnym wypłukiwaniem gruntu [2], a co za tym idzie naruszeniem stabilności w pobliżu innych obiektów infrastruktury podziemnej. Jednakże rzeczywistość eksploatacyjna weryfikuje takie globalne podejście z uwagi na czasochłonność badań i dostępność informacji. Ponadto wiele mówi się o podejściu matematycznym w analizie stanu technicznego kanalizacji [1], co jest oczywiście uzasadnione, ale ten krok może być wykonany dopiero w momencie, gdy dysponuje się pełnymi i wiarygodnymi wynikami badań eksploatacyjnych, które powinny stanowić podstawę do dalszych kroków, np. predykcji z wykorzystaniem metod maszynowych. Przedstawiony przykład nagłej i niespodziewanej awarii wskazuje na, intuicyjny zresztą fakt, iż systemy infrastruktury podziemnej, z uwagi na utrudniony do nich dostęp, mogą ulegać niewykrywalnym przez dłuższy czas uszkodzeniom, a następnie powodować katastrofę budowlaną. Studium przypadku, które zostało pokrótce omówione w niniejszym opracowaniu, może stać się przyczynkiem do dalszej analizy nieprawidłowości i uszkodzeń występujących w grawitacyjnych systemach kanalizacyjnych. Kanalizacja deszczowa, pomimo że pracuje tylko okresowo z uwagi na nieregularność dopływu ścieków deszczowych, jest tak samo narażona na uszkodzenia i podatna na awarie, jak przewody pracujące w systemie ogólnospławnym czy kanały ściekowe. I właśnie czynniki pogodowe powinny stanowić jeden z ważniejszych elementów branych pod uwagę podczas analizy uszkodzalności systemów kanalizacji deszczowej, ale z uwzględnieniem pewnego

przesunięcia czasowego, gdyż nie zawsze dokładnie w tym samym momencie wystąpienia np. nawalnych opadów musi dojść do rozległej awarii kanału.

Na koniec warto również zaznaczyć jeszcze jeden istotny aspekt związany z awaryjnością podziemnych sieci komunalnych. Sposób informowania o rozmiarze awarii, jej skutkach, planowanym czasie naprawy i terminie powtórnego oddania do eksploatacji jest obecnie przedmiotem dyskusji, zarówno w opracowaniach naukowych [11], jak i w lokalnych społecznościach.

LITERATURA

- [1] Hernández Nathalie, Caradot Nicolas, Sonnenberg Hauke, Rouault Pascale, Torres Andrés. 2021. "Optimizing SVM models as predicting tools for sewer pipes conditions in the two main cities in Colombia for different sewer asset management purposes". *Structure and Infrastructure Engineering* (17) 2: 156-169. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1733029>
- [2] Iwanek Małgorzata, Suchorab Paweł. 2024. "Fractal characteristics of water outflows on the soil surface after a pipe failure". *Water* (16): 1222. <https://doi.org/10.3390/w16091222>
- [3] Kuliczewska Emilia. 2024. „Dobór odpowiedniej klasy powłok w bezwykopowej odnowie betonowych przewodów kanalizacyjnych”. *Instal* (5): 17-22. DOI: 10.36119/15.2024.5.3
- [4] Kuliczewska Emilia, Wijas Katarzyna. 2020. „Sposoby wyznaczenia ryzyka awarii przewodów kanalizacyjnych”. *Instal* (4): 50-55. DOI: 10.36119/15.2020.4.8
- [5] Kuliczewski Andrzej, Kuliczewska Emilia. 2023. „Uszkodzenia i awarie rur i powłok z tworzyw sztucznych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych”. *Instal* (10): 21-26. DOI: 10.36119/15.2023.10.4
- [6] Kuliczewski Andrzej, Kuliczewska Emilia, Lisowska Justyna. 2022. „Efekty naukowe 30-letnich badań przewodów kanalizacyjnych techniką CCTV”. *Instal* (5): 43-47. DOI 10.36119/15.2022.5.7
- [7] Kuliczewski Andrzej, Zwierzchowski Dariusz. 2006. „Zastosowanie systemów telewizyjnych CCTV do oceny stanu technicznego kanałów betonowych”. *Przegląd Budowlany*, (10) :18-22.
- [8] Madryas Cezary, Kolonko Andrzej, Wysocki Leszek. 2002. „Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [9] Miszta-Kruk Katarzyna. 2016. "Reliability and failure rate analysis of pressure, vacuum and gravity sewer systems based on operating data". *Engineering Failure Analysis* (61): 37-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.07.034>
- [10] Myrans Joshua, Kapelan Zoran, Everson Richard. 2016. "Automated detection of faults in wastewater pipes from CCTV footage by using Random Forests". *Procedia Engineering* (154): 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.416>.
- [11] Pietrucha-Urbanik Katarzyna, Rak Janusz. 2020. "Consumers' perceptions of the supply of tap water in crisis situations". *Energies* (13): 3617. DOI:10.3390/en13143617.
- [12] Scheperboer I.C., Luimes R.A., Suiker A.S.J., Bosco E., Clemens F.H.L.R. 2021. "Experimental-numerical study on the structural failure of concrete sewer pipes". *Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research* (116): 104075. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104075>
- [13] Wijas Katarzyna. 2023. „Czynniki wpływające na konsekwencje awarii przewodów kanalizacyjnych”. *Instal* (9): 45-49. DOI: 10.36119/15.2023.9.5.
- [14] Yin Xianfei, Tianxin Ma, Bouferguene Ahmed, Al-Hussein Mohamed. 2021. "Automation for sewer pipe assessment: CCTV video interpretation algorithm and sewer pipe video assessment (SPVA) system development". *Automation in Construction* (125): 103622. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103622>.