

Kategorie awarii przewodów kanalizacyjnych

Dr inż. Emilia Kuliczowska

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki

Zagadnienia dotyczące niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej stanowią przedmiot wielu publikacji, w tym między innymi [1, 11, 12, 13, 14]. Przedmiotem niniejszej pracy jest problematyka awarii i katastrof kanalizacyjnych. We wcześniejszych publikacjach [2, 3, 5, 6, 7, 8] przedstawiano głównie mechanizmy powstawania, przyczyny oraz konsekwencje występowania awarii i katastrof kanalizacyjnych. Natomiast w [2] zamieszczono propozycję klasyfikowania uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych do pięciu klas, zróżnicowanych wielkością uszkodzeń, a tym samym stopniem zagrożenia wystąpienia ich awarii.

W [11] zaproponowano następujące kategorie konsekwencji spowodowanych przez sytuacje awaryjne w odniesieniu do systemów zaopatrzenia w wodę:

- małe,
- zauważalne,
- znaczące,
- poważne,
- duże,
- katastrofalne.

Każdą z powyższych kategorii zdefiniowano, podając zakresy ponoszonych strat finansowych oraz stwarzanych uciążliwości, od mniej istotnych do bardzo poważnych, łącznie z zaistnieniem wypadków śmiertelnych, przyporządkowując im wagi od 1 do 6. W [1] propozycję tę zaadaptowano pod nazwą „Katego-

rie skutków zdarzeń niepożądanych” do szacowania niepożądanych zdarzeń w systemach kanalizacyjnych.

Bazując na obu tych propozycjach oraz analizie około 90 awarii i katastrof kanalizacyjnych, które wystąpiły w różnych krajach [5, 6, 7, 12], dokonano prezentacji różnych awarii przewodów kanalizacyjnych, przyporządkowując je do sześciu kategorii, zróżnicowanych konsekwencjami ich wystąpienia. Zaproponowano jednocześnie kryteria przyporządkowujące te awarie do poszczególnych kategorii.

KATEGORIE AWARII KANALIZACYJNYCH Z PRZYKŁADAMI

Kategorie awarii małych

Do kategorii awarii małych zakwalifikowano zdarzenia polegające na osiadaniu nawierzchni ulicznych usytuowanych nad nieszczelnymi kanałami, najczęściej spowodowane przedostawaniem się gruntu do ich wnętrza, wskutek infiltracji wód gruntowych poprzez nieszczelności kanałowe. Grunt może przedostawać się także do wnętrza kanałów wskutek eksfiltracji ścieków z kanałów do gruntu w trakcie ich podtopień, a następnie ponownego ich wpływu do wnętrza kanałów po ustaniu podtopień. Przyczyną zapadania się nawierzchni ulicznych może być również utrata nośności przez konstrukcję kanałową, powodująca zawalenie się kanału.

Kategorie awarii zauważalnych

Do kategorii awarii zauważalnych zakwalifikowano awarie, w których wystąpiły pojedyncze zapadliska niewielkich rozmiarów o objętości od kilku do około 20 m^3 , nie zostały uszkodzone inne przewody i kable, nie wpadły do wnętrza zapadlisk samochody, nie było dodatkowych strat mienia, wskutek zaistniałej awarii nie ucierpieli ludzie ani środowisko.



Rys. 1. Awaria kanału w Vancouver [15]



Rys. 2. Awaria kanału w Baltimore [15]



Rys. 3. Awaria kanału w Tannton [15]

Przykładem awarii kwalifikującej się do kategorii zauważalnych może być awaria w Vancouver, w wyniku której zauważony otwór (rys. 1) w nawierzchni miał średnicę $0,46 \text{ m}$, a zapadlisko pod nim średnicę $1,83 \text{ m}$ i głębokość $2,44 \text{ m}$. Kolejny przykład dotyczy awarii w Baltimore (rys. 2) z zapadliskiem o głębokości $6,5 \text{ m}$, długości $1,8 \text{ m}$ i szerokości $0,7 \text{ m}$. Zapadlisko powstało nad nieszczelnym starym murowanym kanałem o średnicy około 3 m . Przy awarii w Tannton powstało zapadlisko (rys. 3) o średnicy około $2,1 \text{ m}$ i głębokości $2,4 \text{ m}$ nad nieszczelnym kanałem o wymiarach około $46 \times 56 \text{ cm}$.

KATEGORIE AWARII ZNACZĄCYCH

Do kategorii awarii znaczących zakwalifikowano awarie, w których wystąpiły pojedyncze zapadliska o większych rozmiarach (o objętości ponad 20 m^3 do około 100 m^3), ewentualne uszkodzenia innych przewodów i kabli były niewielkie, zapadł się maksymalnie jeden samochód, ale nie było rannych i ofiar śmiertelnych.

Do kategorii znaczących można zaliczyć następujące awarie:

- w Detroit (2011 rok), gdzie powstało zapadlisko o wymiarach $3,5 \times 7,6 \text{ m}$, do którego wpadł samochód z dwiema kobietami i 2-letnim dzieckiem; zostali oni uratowani przez świadków zdarzenia; w trakcie zapadania się, samochód uszkodził przewód wodociągowy, który wypełnił wodą zapadlisko;



Rys. 4. Awaria kanału w Vancouver [15]



Rys. 5. Awaria kanału w Columbus [15]

- w Vancouver (2010 rok), gdzie powstało zapadlisko o wymiarach około 9×5 m i głębokości około 6 m (rys. 4); zapadająca się nawierzchnia uszkodziła przewód wodociagowy ϕ 300 mm i 3 przewody gazowe ϕ 250 mm;
- w Columbus (1986 rok), gdzie nad dwoma ponad stuletnimi kanałami murowanymi zapadła się nawierzchnia uliczna o wymiarach $12,20 \times 9,15$ m, z jednym samochodem (rys. 5); kierowca samodzielnie wydostał się z samochodu.

Podobne awarie wydarzyły się w Toronto (2009 rok), gdzie powstały dwa zapadliska o średnicy około 5 m i głębokości 14 m i 3 m, w Cleveland (2012 rok) o średnicy około 8 m i głębokości 3 m, czy większe w Filadelfii (1923 rok) o średnicy około 15,2 m i głębokości od około 6,1 do 9,1 m.

KATEGORIE AWARII POWAŻNYCH

Do kategorii awarii poważnych zaliczono awarie, w których pojawiły się zapadliska o objętości ponad 100 m^3 (lub mniejsze), w czasie których doszło do poważnego zranienia osób lub śmierci nie więcej niż jednej osoby, nastąpiły poważne uszkodzenia innych przewodów i kabli.

Do kategorii awarii poważnych można zaliczyć:

- awarię w Seattle (1957 rok) opisaną między innymi w [5], gdzie zapadł się teren (w tym nawierzchnia uliczna i chodniki) nad głęboko posadowionym nieszczelnym kanałem murowanym o średnicy 1,83 m; krater miał wymiary 53×61 m i głębokość 15,2 m (rys. 6);
- awarię w Lizbonie (2003 rok) opisaną w [8], gdzie wracający do zajezdni autobus tylko z kierowcą wpadł do zapadliska o głębokości 9,15 m (rys. 7);
- awarię w Bryansku (2012 rok), gdzie nawierzchnia uliczna o powierzchni kilku m^2 wraz z kobietą i jej dzieckiem zapadła się. Udało się uratować tylko kobietę;
- awarię w Tucson, szczegółowo opisaną w [8], gdzie na trasie kanału (rys. 8) pojawiło się kilka dużych zapadlisk;
- awarię w Sterling Height (2004 rok), gdzie zapadlisko miało wymiary $18,3 \times 48,4$ m i głębokość 9,2 m (rys. 9);
- awarię w Shoreline (1996 rok), gdzie powstało zapadlisko o kubaturze 27,5 tys. m^3 i uszkodzonych zostało bardzo dużo różnych przewodów i kabli (rys. 10);
- awarię w Macomb County koło Detroit (2004 rok) [8], gdzie powstało zapadlisko o długości 37 m, szerokości 18 m i głębokości 12 m.



Rys. 6. Awaria kanału w Seattle [2]



Rys. 8. Awaria kanału w Tucson [2]



Rys. 7. Awaria kanału w Lizbonie [2]



Rys. 9. Awaria kanału w Sterling Height [15]



Rys. 10. Awaria kanału w Shoreline [15]

KATEGORIE AWARII DUŻYCH (BARDZO POWAŻNYCH)

Do kategorii awarii dużych (bardzo poważnych) zaliczono awarie, w których powstawały bardzo duże zapadliska, miejscowe lub liniowe, w których zaistniały bardzo poważne szkody materialne, zapadały się budynki lub zginęła więcej niż jedna osoba.

Do kategorii awarii dużych można zaliczyć awarię w Atlancie (1993 rok), gdzie nad około 70-letnim kanałem o średni-

cy 3,66 m powstało zapadlisko o średnicy 24,4 m i głębokości 12,2 m; zapadły się trzy samochody i zginęły trzy osoby (rys. 11);

KATEGORIE AWARII KATASTROFALNYCH

Do kategorii awarii katastrofalnych można zaliczyć te awarie, w których zginęło więcej niż kilka osób, zaistniały olbrzymie straty materialne, zniszczeniu uległy budynki, samochody, inne przewody i kable infrastruktury podziemnej, awarie które wystąpiły nieraz na dużych odległościach, a także awarie których bezpośrednią przyczyną był wybuch łatwopalnych gazów znajdujących się w kanalizacji.

Awarią o skutkach katastrofalnych była awaria w drugim co do wielkości mieście Meksyku – Guadalajarze (1992 rok), spowodowana wybuchem łatwopalnych gazów znajdujących się we wnętrzu kanałów. Powstały one z wycieku benzyny ze skorodowanego przewodu, który znajdował się w pobliżu kanału. Benzyna wraz z wodą gruntową przedostała się do wnętrza kanału przez nieszczelne złącza. Wybuch według danych oficjalnych



Rys. 12. Awaria kanału w Guadalajarze [15]



Rys. 11. Awaria kanału w Atlancie [15]



Rys. 13. Awaria kanału w Guadalajarze [15]

spowodował śmierć 252 osób (według danych nieoficjalnych około 1000 osób), zranił ponad 1500 osób, uszkodził 1148 budynków, zniszczył 505 pojazdów i około 8 km ulic (rys. 12, 13). Wskutek eksplozji powstało około 230 tys. ton gruzu. Podmuch spowodowany wybuchem wyrzucał samochody i autobusy w powietrze, niektóre z nich nawet na dachy pobliskich budynków. Straty według cen z 1992 roku szacowano na od około 300 mln do około 1 mld USD.

Do kategorii awarii katastrofalnych można zaliczyć także awarię w Louisville (1981 rok), gdzie wybuch zniszczył około 4 km kanałów o średnicach dochodzących do 3,66 m. Bezpośrednią przyczyną wybuchu był przedostający się do wnętrza kanałów rozpuszczalnik z pobliskich zakładów produkcji wyrobów sojowych. Zapadliska sięgały głębokości do 10,7 m. Uszkodzonych zostało wiele domów i firm. Nie odnotowano poważniejszych urazów wśród ludzi. Ewakuowano 1828 osób, a dostawy mediów do około 23 tysięcy mieszkańców były przerwane. Straty spowodowane tą awarią oszacowano według cen z 1981 roku na kwotę około 30 mln USD.

MEGAKATASTROFY?

Pytanie dotyczące możliwości wystąpienia katastrof większych od wyżej opisanych zdarzeń w Louisville i Guadalajarze może być zasadne w odniesieniu do systemów kanalizacji głębokiej, budowanych bardzo głęboko, to jest kilkadziesiąt metrów pod powierzchnią terenu, z reguły pod podziemnymi liniami głębokiego metra. Kanały takie, o średnicach dochodzących nawet do 5 m, wybudowano w wielu miastach (między innymi w Londynie, Manchesterze, Chicago, St. Louis, Toledo, Moskwie, Sankt Petersburgu).

Awaria tych kolektorów w przypadku ich rozszczelnienia może hipotetycznie w przyszłości doprowadzić do zapadnięcia się w obszar pustki powietrznej nad tymi kanałami linii metra, zalania ściekami pociągów linii metra i spowodować śmierć znacznie większej liczby osób, niż miało to miejsce w przypadku katastrofy w Guadalajarze. Mogą także powstać zapadliska terenów wraz ze znajdującą się tam zabudową, o wymiarach nie mniejszych niż około 100×100 m.

KONSEKWENCJE AWARII PRZEWODÓW KANALIZACYJNYCH

Analizując udokumentowane awarie przewodów kanalizacyjnych, można odnotować następujące możliwe konsekwencje ich wystąpienia:

- zniszczenia nawierzchni ulicznych,
- skażenie środowiska ściekami (w tym głównie gruntu i wód gruntowych),
- uszkodzenia innych sieci i kabli, powodując pozbawienie mieszkańców różnych mediów, często wszystkich wcześniej dostępnych, nieraz na długi okres czasu,
- uciążliwości związane z przepompowywaniem ścieków w okresie usuwania skutków awarii,

- ewakuacja ludności z terenów zagrożonych zapadliskiem,
- uszkodzenia lub zniszczenia budynków, zakładów produkcyjnych, samochodów lub innego mienia,
- utrata zdrowia krótkotrwała lub długotrwała (trwałe kalectwo) lub śmierć osób (lub zwierząt),
- wystąpienie różnych problemów związanych z funkcjonowaniem oczyszczalni ścieków – w związku z pojawieniem się różnych zanieczyszczeń transportowanych z obszaru zapadliska,
- utrudnienia w ruchu,
- inne uciążliwości, na przykład hałas urządzeń i ciężkiego sprzętu w trakcie napraw,
- zamknięcie przedsiębiorstw i placówek handlowych w pobliżu miejsca katastrofy.

UWAGI DOTYCZĄCE ZAPROPONOWANEJ KATEGORYZACJI AWARII

Analizując udokumentowane awarie przewodów kanalizacyjnych w kontekście poprzednio wymienionych konsekwencji ich wystąpienia, należy stwierdzić, że bardzo trudnym zadaniem jest jednoznaczne przyporządkowanie poszczególnych awarii do poszczególnych kategorii. Wynika to z dużej różnorodności konsekwencji awarii, w tym pojawiający się czynnik ludzki (zranienia ludzi, trwałe ich kalectwo czy śmierć), a także trudne w ocenie konsekwencje pozbawienia mieszkańców określonych mediów (prądu, wody, gazu, łączności itp.), konsekwencji skażenia środowiska ściekami sanitarnymi itp.

Granice zaproponowanych kryteriów przyporządkowujących poszczególne awarie do poszczególnych kategorii należy na chwilę obecną uznać za mało ścisłe. Analiza większej liczby awarii przewodów kanalizacyjnych oraz bardziej pogłębiona analiza techniczno-ekonomiczna ich konsekwencji powinna przyczynić się do uściślenia przedstawionych propozycji kategoryzacji.

PRZYZYNY AWARII

Pierwotną przyczyną zdecydowanej większości awarii przewodów kanalizacyjnych jest ich nieszczelność. Wtórą przyczyną jest infiltracja wód gruntowych z gruntem otaczającym kanały do ich wnętrza. Wraz z wodą gruntową do wnętrza kanałów mogą przedostawać się także toksyczne związki chemiczne przyczyniające się do zaistnienia wybuchu wewnątrz kanałowego.

Drugą z przyczyn powodujących często awarie przewodów kanalizacyjnych jest eksfiltracja ścieków do gruntu, destabilizująca środowisko gruntowe wokół kanałów. Występuje ona w przewodach kanalizacyjnych posadowionych w gruntach suchych nad zwierciadłem wód gruntowych oraz w przypadku podtopień przewodów kanalizacyjnych i ich pracy pod ciśnieniem. Dotyczy to głównie kanałów deszczowych oraz ogólnospławnych. Mechanizmy tych zjawisk opisano szczegółowo i wyjaśniono między innymi w [4, 5].

WNIOSKI

Analiza różnych awarii przewodów kanalizacyjnych wykazała, że konsekwencje ich wystąpienia są bardzo różnorodne i jednocześnie w wielu przypadkach bardzo poważne.

Podaną propozycję kategoryzacji awarii przewodów kanalizacyjnych należy uznać jako wstępną, stanowiącą podstawę do dalszych analiz zarówno technicznych, jak i ekonomicznych, prowadzących do jej udoskonalenia, w tym między innymi uściślenia kryteriów.

Podstawową przyczyną wszystkich analizowanych awarii przewodów kanalizacyjnych była ich nieszczelność.

W celu zapobieżenia lub ograniczenia do minimum występowania awarii przewodów kanalizacyjnych należy cyklicznie wykonywać badania CCTV [2], kontrolować ich szczelność [9], w tym także wykrywać ewentualne pustki powietrzne lub rozluźnienia gruntu na zewnątrz konstrukcji kanałowych [4]. W przypadku dużych kolektorów kanalizacyjnych często konieczne jest także wykonywanie ekspertyz konstrukcyjnych [10].

Poprawna eksploatacja przewodów kanalizacyjnych możliwa jest między innymi dzięki stosowaniu przez przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne strategii odnowy przewodów kanalizacyjnych dostosowanych do specyfiki tychże sieci. Niezwykle ważnym elementem tych strategii jest ustalanie kolejności przewodów kanalizacyjnych przeznaczonych do odnowy, na przykład według zaleceń zamieszczonych w [2].

LITERATURA

1. Królikowska J.: Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej. Monografia nr 382, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010.
2. Kuliczowska E.: Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nieprzelazowych przewodów kanalizacyjnych. Monografia nr M3, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2007.

3. Kuliczowska E.: Deszcze nawalne przyczyną katastrof kanalizacyjnych. *Wodociągi i Kanalizacja*, nr 4/2010, 38-39.
4. Kuliczowska E., Nadstawna E.: Diagnostyka przewodów kanalizacyjnych georadarami przemieszczającymi się w ich wnętrzu. *Instal, Teoria i praktyka w instalacjach*, nr 2/2012, 64-66.
5. Kuliczowski A., Kuliczowska E.: Katastrofy kanalizacyjne i ich przyczyny. *Przegląd Budowlany*, nr 3/2008, 31-34.
6. Kuliczowski A., Kuliczowska E.: Przyczyny występowania katastrof kanalizacyjnych. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, nr 2/2005, 20-25.
7. Kuliczowski A., Dańczuk P., Parka A.: Konsekwencje wystąpienia katastrof kanalizacyjnych. *bmp Ochrona Środowiska*, nr 2/2005, 30-32.
8. Kuliczowski A., Kuliczowska E.: Katastrofy kanalizacyjne i ich przyczyny. *Przegląd Budowlany*, nr 3/2008, 31-34.
9. Kuliczowski A. i inni: Technologie bezwykopowe w Inżynierii Środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2010.
10. Kuliczowski A., Kuliczowska E.: Ekspertyzy konstrukcyjne kolektorów kanalizacyjnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 1/2011, 18-20.
11. Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2010.
12. Madryas C.: Odnowa przewodów kanalizacyjnych. Monografia nr 16, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
13. Rak J., Kwietniewski M.: Bezpieczeństwo i zagrożenia systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011.
14. Rak J.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
15. Szajda G.: Studium przyczyn i konsekwencji katastrof kanalizacyjnych. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2012.

Artykuł zawiera referat przedstawiony na X Konferencja Naukowo-Technicznej „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych 2014”