

Czynniki wpływające na konsekwencje awarii przewodów kanalizacyjnych

Factors influencing the consequences of failure of sewer pipes

KATARZYNA WIJAS

DOI 10.36119/15.2023.9.5

W artykule przedstawiono rezultaty badań ankietowych przeprowadzonych wśród polskich ekspertów z branży wodno – kanalizacyjnej. Celem analizy było ustalenie jakie czynniki oraz w jakim stopniu powinny być brane pod uwagę w ocenie konsekwencji awarii konstrukcyjnych i eksploatacyjnych przewodów kanalizacyjnych. Ustalono średnie wagi dla 15 czynników z rozróżnieniem na wyżej wymienione rodzaje awarii. Uszeregowano je w kolejności od najbardziej do najmniej ważnych według opinii ankietowanych. Wskazano, które czynniki, zdaniem ekspertów, nie mają wpływu na skutki awarii przewodów kanalizacyjnych.

Słowa kluczowe: konsekwencje awarii, awaria konstrukcyjna, awaria eksploatacyjna, ryzyko awarii, przewody kanalizacyjne

The article presents the results of a survey conducted among Polish experts from the water and sewage industry. The aim of the analysis was to determine what factors and to what extent should be taken into account in assessing the consequences of structural and operational failures of sewers. Average weights were established for 15 factors, distinguishing between the above-mentioned types of failures. They were ranked from the most to the least important according to the opinion of the respondents. It was indicated which factors, according to experts, have no impact on the consequences of failure of sewer pipes.

Keywords: consequences of failure, structural failure, operational failure, risk of failure, sewers

Wprowadzenie

W trakcie eksploatacji przewodów kanalizacyjnych, z różnych przyczyn [5], może dochodzić do występowania awarii konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Pierwszy rodzaj awarii jest następstwem pogarszającego się stanu technicznego kanałów, w których pojawiają się m.in. rysy, pęknięcia, korozja i starcie ścian oraz deformacje przekroju poprzecznego, co prowadzi do zmniejszenia lub utraty nośności przewodu, a w konsekwencji nawet jego zawalenia się. Może dochodzić wówczas do zapadania się chodników, nawierzchni ulicznych, czy terenów zielonych – w zależności od tego, gdzie kanał jest posadowiony. Awaria eksploatacyjna (hydrauliczna) polega na zredukowaniu lub całkowitym wstrzymaniu przepływu ścieków w przewodzie kanalizacyjnym na skutek zmniejszonego przekroju poprzecznego poprzez m. in. odkładające się osady, tłuszcze, oleje, inne przeszkody, czy przerastające do wnętrza korzenie drzew i krzewów. Konsekwencją takiej awarii może być eksfiltracja ścieków [11], ich wylewanie się na powierzchnię

terenu lub cofanie do piwnic budynków, występowanie uciążliwych zapachów i gazów, czy wzrost nakładów eksploatacyjnych związanych z koniecznością usuwania awarii.

Zgodnie z [19] przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjne są zobowiązane, by zapewnić ciągłość i niezawodność odprowadzania ścieków, dlatego też podejmują różnego rodzaju działania (inspekcje, czyszczenie, wycinanie korzeni, rehabilitacje przewodów kanalizacyjnych [10]), by zapobiegać awariom. Priorytety takich działań można ustalać w oparciu o ryzyko wystąpienia takich zdarzeń [4, 6 – 8]. Powszechnie stosowana jest metoda szacowania ryzyka awarii przewodów kanalizacyjnych w oparciu o iloczyn dwóch parametrów, tj. prawdopodobieństwa oraz konsekwencji jej wystąpienia, zaprezentowana m.in. w [2 – 4, 6, 12 – 13, 18]. Dla porównania, ryzyko w systemach wodociągowych oceniane jest z zastosowaniem macryc dwu-, trzy-, cztero-, a nawet pięcioparametrycznych [14 – 16]. W pierwszej kolejności działania zapobiegawcze należy podejmować w przewodach kanalizacyjnych

o najwyższym poziomie ryzyka (ryzyko nieakceptowane, nietolerowane), a w dalszej kolejności dla kanałów, dla których jest ono kontrolowane, a następnie tolerowane i zanedbywalne. Wybrane propozycje krajowe i zagraniczne do wyznaczania ryzyka oraz poszczególnych jego parametrów omówiono w [9].

Konsekwencje awarii, jako jeden z parametrów branżowych pod uwagę w szacowaniu ryzyka awarii, były przedmiotem analiz w kraju i na świecie. Najczęściej są one oceniane w oparciu o trzy kryteria, tj. społeczne, środowiskowe i ekonomiczne, charakteryzowane przez różne czynniki. W [3] do oszacowania następstw awarii sieci kanalizacyjnej brano pod uwagę funkcję przewodu kanalizacyjnego w systemie, możliwe utrudnienia w ruchu drogowym, koszty środowiskowe oraz uszkodzenia kanałów. W [12 – 13] wskazano następujące czynniki: średnica przewodu, zagłębienie, pozycja odcinka (kolejność) w sieci kanalizacyjnej, liczba obsługiwanych przykanalików (liczona od początku sieci), lokalizacja kanału, bliskość terenów wrażliwych pod względem środowiskowym, obsługiwani klienci oraz dostępność

dr inż. Katarzyna Wijas <https://orcid.org/0000-0002-6355-177X> – Katedra Inżynierii Sanitarnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej, Politechnika Świętokrzyska. Adres do korespondencji/ Corresponding author: kbaba@tu.kielce.pl

przewodu kanalizacyjnego. W [2] wskazano łącznie 11 czynników do szacowania skutków awarii, przy czym nowymi, w porównaniu do wyżej wymienionych, były: typ drogi, skrzyżowanie z drogą kolejową, położenie w centrum miasta, bliskość szpitali, szkół, rzek, parków i terenów rekreacyjnych, kanałów deszczowych w złym stanie technicznym oraz odległość od budynku. W [18] straty ekonomiczne określano w oparciu o średnicę przewodu (natężenie przepływu ścieków), skutki społeczne – na podstawie typu drogi, zagospodarowania terenu oraz użyczenia / służebności / udogodnienia (ang. easements), zaś następstwa środowiskowe – biorąc pod uwagę odległość przewodu od wód powierzchniowych oraz wylotów kanałów burzowych. W [17] zaproponowano, spośród nie uwzględnianych wyżej czynników, np. odległość od stref komercyjnych / handlowych oraz od infrastruktury krytycznej. W [1] celem wyznaczenia ogólnej wielkości konsekwencji analizowano przykładowo: średnice przewodów, koszt naprawy, jakość ścieków, lokalizację w obszarze wpływu studni, czy odległość od przewodu wodociągowego.

W celu oszacowania wielkości (dotkliwości) konsekwencji awarii przewodów kanalizacyjnych wykorzystuje się metody, w których poszczególnym czynnikom lub też każdemu z kryteriów (ekonomicznemu, społecznemu, środowiskowemu) przyporządkowuje się wagi, a następnie oblicza np. średnią ważoną. Do skategoryzowania czynników, jak również przyporządkowywania wag powszechnie wykorzystuje się wiedzę ekspercką.

Opis badania ankietowego

Analizie poddano opinie polskich ekspertów z branży wodno – kanalizacyjnej uzyskane z badania ankietowego zatytułowanego „Ankieta dotycząca badania stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych oraz ustalania ryzyka ich awarii”. Prace badawcze zostały przeprowadzone na przełomie lat 2021 i 2022 w formie ankiety online, do której link otrzymali adresaci pocztą elektroniczną. Zaproszenie do jej wypełnienia zostało przesłane do blisko 70 odbiorców, tzn.: pracowników naukowych oraz z przedsiębiorstw wodociągowo – kanalizacyjnych, a także firm prywatnych, prowadzących działalność w zakresie badania i / lub odnowy przewodów kanalizacyjnych.

Formularz ankiety, w formacie pdf, był dołączony do wiadomości mailowej celem wstępnego zapoznania się z pytaniami. Docelowo ankietowani byli proszeni

o wypełnienie wersji online, dostępnej pod adresem internetowym podanym w przesłanym zaproszeniu. Ankieta zawierała łącznie osiem pytań, w tym siedem pytań otwartych oraz jedno pytanie zamknięte jednokrotnego wyboru. Każda z sekcji pytań została poprzedzona krótkim wprowadzeniem w tematykę, której dotyczyły zapytania oraz stosownymi wyjaśnieniami.

Pierwsza sekcja pytań dotyczyła czynników mających wpływ na skutki awarii przewodów kanalizacyjnych. Czynniki takie, w ocenie konsekwencji awarii konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, mogą mieć różny stopień wpływu na wielkość ich następstw, w zależności od rodzaju awarii. Wobec tego, w ankiecie proszono o podanie wag dla każdego czynnika z rozróżnieniem na skutki awarii konstrukcyjnych i hydraulicznych. W badaniu ankietowym wskazano 15 różnych czynników, które wpływają na konsekwencje awarii, wytypowanych na podstawie rozpoznania literaturowego, tzn.:

- a) średnica przewodu kanalizacyjnego lub wymiar zastępczy dla przewodów o przekroju niekołowym,
- b) rodzaj gruntu, w którym przewód jest posadowiony (tzn. grunty niespoiste, średnio spoiste, spoiste mieszane, bardzo spoiste),
- c) głębokość ułożenia przewodu kanalizacyjnego,
- d) położenie zwierciadła wód gruntowych względem przewodu kanalizacyjnego,
- e) dostępność przewodu kanalizacyjnego (tzn. możliwość dojazdu w celu zbadania, naprawy, rehabilitacji itp.),
- f) typ i konstrukcja drogi, pod którą przewód jest posadowiony (tzn. gruntowe, lokalne, powiatowe, krajowe, ekspresowe, autostrady),
- g) natężenie ruchu drogowego (jeśli przewód posadowiony jest pod drogą),
- h) zagospodarowanie terenu ponad przewodem (np. tereny zielone, chodniki, drogi, rzeka, tory kolejowe, lotniska itp.),
- i) odległość przewodu kanalizacyjnego od infrastruktury krytycznej (tzn. miejsc takich, jak: szpitale, szkoły, centrum miasta, budynki użyteczności publicznej itp. – z punktu widzenia dużych zbiorowisk ludzi),
- j) funkcja przewodu kanalizacyjnego w systemie (tzn. kanał początkowy, boczny, zbieracz, kolektor główny),
- k) rodzaj kanalizacji (tzn. sanitarna, deszczowa, ogólnospławna),
- l) materiał rur (np. kamionka, beton, żelbet, GRP, PVC),

- m) spadek, z jakim przewód kanalizacyjny jest ułożony,
- n) jakość ścieków transportowanych przewodem kanalizacyjnym (tzn. skład chemiczny),
- o) liczba przykanalików włączonych do przewodu kanalizacyjnego.

Dodatkowo, w kolejnych pytaniach poproszono ekspertów o informację, czy ich zdaniem powinny być uwzględniane jeszcze inne czynniki, a jeśli tak – w jakim stopniu.

Celem przeprowadzonych badań było ustalenie, na podstawie opinii wyrażonych w pierwszej sekcji ankiety przez polskich ekspertów, jakie czynniki oraz w jakim stopniu powinny być brane pod uwagę w ocenie konsekwencji awarii konstrukcyjnych i eksploatacyjnych przewodów kanalizacyjnych.

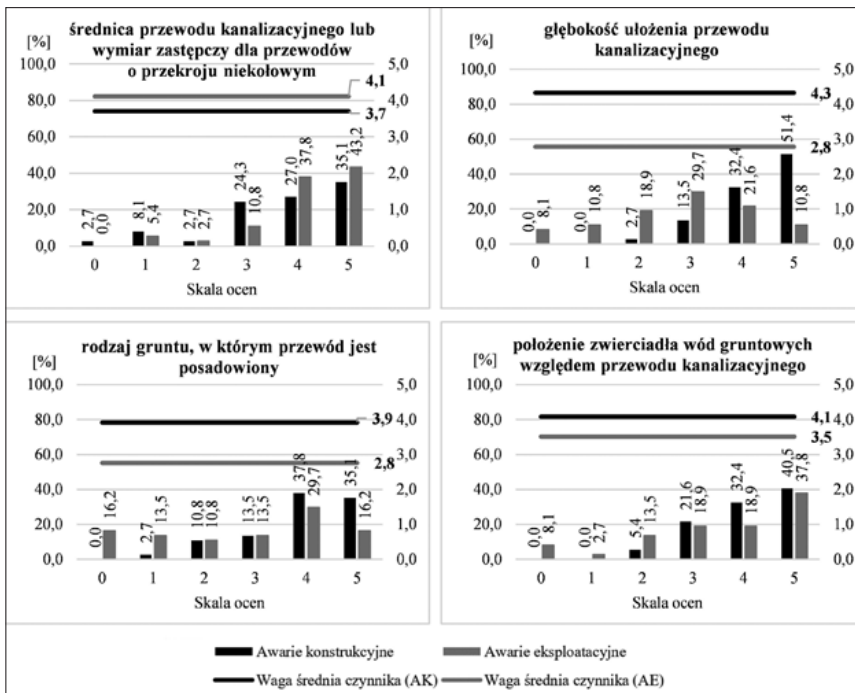
Wyniki badań

Przeprowadzone badania ankietowe pozwoliły na uzyskanie informacji na temat czynników oraz stopnia ich wpływu na konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe awarii przewodów kanalizacyjnych. Spośród 70 wysłanych zaproszeń, uzyskano łącznie 37 zwrotów ankiet. Wśród ekspertów, którzy wzięli udział w badaniach, byli m. in.: profesorowie i doktorzy nauk technicznych oraz pracownicy działów technicznych przedsiębiorstw wodociągowo – kanalizacyjnych.

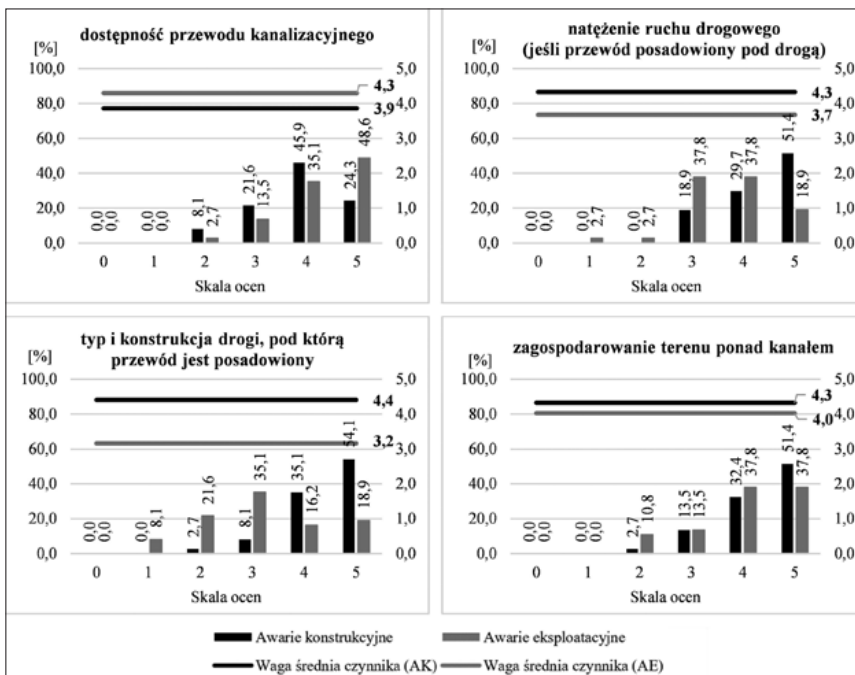
Na rysunkach 1 – 4 przedstawiono, jaki rozkład miały odpowiedzi ankietowanych na pytanie zawarte w pierwszej sekcji ankiety: „W jak dużym stopniu Pani/Pana zdaniem, w skali od 0 do 5, wymienione czynniki powinny być brane pod uwagę w ocenie konsekwencji awarii konstrukcyjnych i eksploatacyjnych”. Przyjęto następującą skalę ocen:

- 0 – nie trzeba brać pod uwagę,
- 1 – w bardzo małym stopniu,
- 2 – w małym stopniu,
- 3 – w średnim stopniu,
- 4 – w dużym stopniu,
- 5 – w bardzo dużym stopniu.

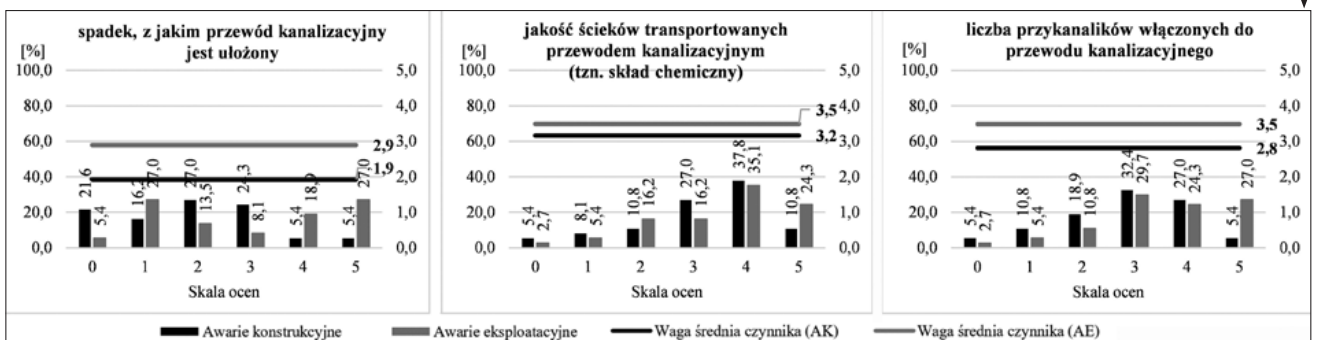
Na rysunkach 1 – 4 skróty AK oznaczają awarię konstrukcyjną, zaś AE – awarię eksploatacyjną. Oś pionowa po lewej stronie wykresu dotyczy udziału procentowego danej odpowiedzi (oceny 0, ..., 5) udzielonej przez ekspertów w stosunku do wszystkich odpowiedzi. Oś pionowa po prawej stronie rysunku reprezentuje skalę ocen (wag) dla czynników branych pod uwagę w ocenie konsekwencji awarii przewodów kanalizacyjnych. Celem przejrzystego zobrazowania rozkładu odpowiedzi ankietowanych w odniesieniu do



Rys. 1. Czynniki wpływające na konsekwencje awarii przewodów kanalizacyjnych – część 1
Fig. 1. Factors influencing the consequences of failure of sewer pipes – part 1



Rys. 2. Czynniki wpływające na konsekwencje awarii przewodów kanalizacyjnych – część 2
Fig. 2. Factors influencing the consequences of failure of sewer pipes – part 2



Rys. 3. Czynniki wpływające na konsekwencje awarii przewodów kanalizacyjnych – część 3
Fig. 3. Factors influencing the consequences of failure of sewer pipes – part 3

Rys. 4. Czynniki wpływające na konsekwencje awarii przewodów kanalizacyjnych – część 4
Fig. 4. Factors influencing the consequences of failure of sewer pipes – part 4

Tab. 1. Wagi czynników w ocenie konsekwencji awarii przewodów kanalizacyjnych
 Tab. 1. Weights of factors in the assessment of the consequences of failure of sewers

Awaryjne konstrukcyjne		Awaryjne eksploatacyjne	
Czynnik	Waga	Czynnik	Waga
typ i konstrukcja drogi, pod którą przewód jest posadowiony	4,4	dostępność przewodu kanalizacyjnego	4,3
głębokość ułożenia przewodu kanalizacyjnego	4,3	średnica przewodu kanalizacyjnego lub wymiar zastępczy dla przewodów o przekroju niekołowym	4,1
natężenie ruchu drogowego (jeśli przewód posadowiony pod drogą)	4,3	zagospodarowanie terenu ponad kanałem	4,0
zagospodarowanie terenu ponad kanałem	4,3	funkcja przewodu kanalizacyjnego w systemie	4,0
położenie zwierciadła wód gruntowych względem przewodu kanalizacyjnego	4,1	rodzaj kanalizacji	3,8
rodzaj gruntu, w którym przewód jest posadowiony	3,9	natężenie ruchu drogowego (jeśli przewód posadowiony pod drogą)	3,7
dostępność przewodu kanalizacyjnego	3,9	położenie zwierciadła wód gruntowych względem przewodu kanalizacyjnego	3,5
średnica przewodu kanalizacyjnego lub wymiar zastępczy dla przewodów o przekroju niekołowym	3,7	jakość ścieków transportowanych przewodem kanalizacyjnym (tzn. skład chemiczny)	3,5
funkcja przewodu kanalizacyjnego w systemie	3,5	liczba przykanalików włączonych do przewodu kanalizacyjnego	3,5
materiał rur	3,5	odległość przewodu kanalizacyjnego od infrastruktury krytycznej	3,4
odległość przewodu kanalizacyjnego od infrastruktury krytycznej	3,3	typ i konstrukcja drogi, pod którą przewód jest posadowiony	3,2
rodzaj kanalizacji	3,2	spadek, z jakim przewód kanalizacyjny jest ułożony	2,9
jakość ścieków transportowanych przewodem kanalizacyjnym (tzn. skład chemiczny)	3,2	rodzaj gruntu, w którym przewód jest posadowiony	2,8
liczba przykanalików włączonych do przewodu kanalizacyjnego	2,8	głębokość ułożenia przewodu kanalizacyjnego	2,8
spadek, z jakim przewód kanalizacyjny jest ułożony	1,9	materiał rur	2,6

poszczególnych czynników, podzielono je na cztery grupy, tzn. 1, 2, 3, 4.

W oparciu o przeprowadzone badania ankietowe, na podstawie średnich wartości wag czynników wpływających na konsekwencje awarii konstrukcyjnych i eksploatacyjnych można uszeregować je w kolejności od najbardziej do najmniej „ważnych”, co zaprezentowano w tabeli 1.

W badaniach ankietowych, w pierwszej sekcji pytań, eksperci wskazali także 23 dodatkowe czynniki oraz ich wagi, które ich zdaniem powinny być brane pod uwagę w ocenie konsekwencji awarii konstrukcyjnych. Poniżej wymieniono przykładowe odpowiedzi ankietowanych:

- liczba ludności korzystającej z sieci (gęstość zaludnienia) – waga 4,
- obciążenie hydrauliczne (przepływy maksymalne) – waga 4,
- sposób wbudowania przewodu – waga nie podana,
- szkody górnicze (zwłaszcza powyżej II kategorii terenów górniczych) – waga 4,
- sąsiedztwo punktów zlewczych (korozyja) – waga 5,
- agresywność wód gruntowych i ścieków – waga 3,
- techniki układania przewodów kanalizacyjnych w wykopach otwartych lub metodami bezwykopowymi – waga 4,
- inwestycje związane z realizacją zadań przy wykorzystaniu metod bezwykopowych (przeciski, przewiert),

które uszkadzają sieci kanalizacyjne – waga nie podana,

- jakość robót wykonawczych – waga nie podana.

W wypełnianych ankietach eksperci wskazali także 20 czynników, które powinny być brane pod uwagę w ocenie konsekwencji awarii eksploatacyjnych. Były to m.in.:

- poziom napełnienia kanału – waga 3,
- obciążenie hydrauliczne (przepływy maksymalne w stosunku do przepustowości) – waga 5,
- szkody górnicze (zwłaszcza powyżej II kategorii terenów górniczych) – waga 3,
- właściwy dobór średnic, a w przypadku istniejących sieci ich przeciążenie – waga 5,
- wrzucanie do kanalizacji materiałów i substancji, które powinny trafić do śmietników – waga nie podana,
- sąsiedztwo punktów gastronomicznych (łuszcz) – waga 4,
- zbyt długie odcinki – waga 4,
- lokalne i techniczne możliwości przeprowadzenia kontroli stanu technicznego (w tym badań materiałowych, chemii gruntu i ścieków) – waga 5,
- czynnik określający możliwości przedsiębiorstwa dotyczący dysponowania odpowiednim sprzętem, zapleczem technicznym, czy samochodem specjalnym – waga 4, a nawet 5,

- zakres i jakość wykonywanych czynności eksploatacyjnych – waga 5,
- czas reakcji służb eksploatacyjnych – waga nie podana.

Zestawienie wszystkich dodatkowych czynników, które eksperci wskazali podczas badań ankietowych zamieszczono w [20].

Wnioski

1. Na podstawie średnich wartości wag czynników można stwierdzić, że w opinii ekspertów:
 - najważniejszym czynnikiem wpływającym na skutki awarii konstrukcyjnych jest typ i konstrukcja drogi, pod którą przewód jest posadowiony (jeśli przewód posadowiony jest pod drogą) (4,4), zaś w ocenie następstw awarii hydraulicznych – dostępność przewodu kanalizacyjnego (4,3);
 - najmniejszy wpływ na konsekwencje awarii konstrukcyjnych ma spadek, z jakim przewód kanalizacyjny jest ułożony (1,9), zaś dla awarii hydraulicznych – materiał rur (2,6).
2. Według opinii niektórych ekspertów, do czynników, które w ogóle nie powinny być brane pod uwagę w ocenie skutków awarii:
 - konstrukcyjnych należą np.: spadek, z jakim przewód kanalizacyjny jest ułożony (21,6%) oraz materiał rur (5,4%),
 - eksploatacyjnych należą np.: rodzaj gruntu, w którym przewód jest posadowiony (16,2%), a także materiał rur (10,8%), (powyżej w nawiasach podano odsetek ankietowanych, którzy przypisali czynnikiem wagę 0).
3. Wskazano łącznie 23 inne czynniki, które zdaniem ankietowanych należałoby uwzględnić w ocenie konsekwencji awarii konstrukcyjnych oraz 20, które powinny być brane pod uwagę w szacowaniu następstw awarii hydraulicznych. Dla niektórych czynników nie zaproponowano wag. Zarówno dla awarii konstrukcyjnych, jak i eksploatacyjnych, niektóre z czynników były częściowo zbieżne z tymi, które były poddane analizie w badaniach ankietowych.

LITERATURA

- [1] Anbari M.J., Tabesh M., Roozbahani A., Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks, Journal of Environmental Management, 2017, 190, 91 – 101, https://doi.org/ 10.1016/j.jenvman.2016.12.052
- [2] Baah K., Dubey B., Harvey R., McBean E., A risk – based approach to sanitary sewer pipe asset

- management, *Science of the Total Environment*, 2015, 505, 1011 – 1017, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.040>
- [3] Królikowska J., *Damage evaluation of a town's sewage system in southern Poland by the Preliminary Hazard Analysis Method*, *Environment Protection Engineering*, 2011, 37(4), 131 – 142, [bwmeta1.element.baztech-article-BPW8-0019-0048](http://www.bwmeta1.element.baztech-article-BPW8-0019-0048)
- [4] Kuliczowska E., *Environmental and structural risk assessment of long operated vitrified clay sewers*, *Environment Protection Engineering*, 2017, 44(2), 53 – 67, DOI: 10.37190/epe170205
- [5] Kuliczowska E., *Kryteria planowania bezwypowej odnowy nie przelazowych przewodów kanalizacyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2008
- [6] Kuliczowska E., Parka A., *Management of risk of environmental failure caused by tree and shrub root intrusion into sewers*, *Urban Forestry & Urban Greening*, 2017, 21, 1 – 10, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.001>
- [7] Kuliczowska E., *Risk of structural failure in concrete sewers due to internal corrosion*, *Engineering Failure Analysis*, 2016, 66, 110 – 119, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.04.026>
- [8] Kuliczowska E., *Ryzyko podtopień sieci kanalizacyjnych spowodowanych występowaniem osadów w kanałach*, *Instal*, 2023, 6, 42 – 46 DOI: 10.36119/15.2023.6.7
- [9] Kuliczowska E., Wijas K., *Sposoby wyznaczania ryzyka awarii przewodów kanalizacyjnych*, *Instal*, 2020, 4, 50 – 56, DOI: 10.36119/15.2020.4.8
- [10] Kuliczowski A. i in., *Technologie bezwypokowe w inżynierii środowiska*, Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp z o.o., 2010
- [11] Madryas C., Przybyła B., Wysocki L., *Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2010
- [12] PACP® *Based Risk Management*, NASSCO, 2015, prezentacja multimedialna dostępna pod adresem: <https://slideplayer.com/slide/12721807/> [dostęp: 15.02.2018]
- [13] *Pipeline Assessment and Certification Program*, 2015, film na kanale „nassco111” na platformie YouTube, dostępny pod adresem: https://www.youtube.com/watch?v=-XE4J__eibg [dostęp: 15.02.2018]
- [14] Rak J., Tchórzewska – Cieślak B., *Five – parametric matrix to estimate the risk connected with water supply system operation*, *Environment Protection Engineering*, 2006, 32(2), 37 – 46
- [15] Rak J., Tchórzewska – Cieślak B., *Matrycowe metody analizy ryzyka awarii infrastruktury komunalnej*, *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, 2014, 31(61), 233 – 244, DOI: 10.7862/rb.2014.16
- [16] Rak J., Tchórzewska – Cieślak B., *Ryzyko w eksploatacji systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę*, Wyd. Seidel – Przywecki Sp. z o.o., 2013
- [17] Rossi E.C., *Criticality and risk assessment for pipe rehabilitation in the city of Santa Barbara sewer system*, Praca magisterska, California Polytechnic State University, 2015
- [18] Smith E., Baldwin A., *Using ModelBuilder to Evaluate Risk and Prioritize Sewer Upgrades*, ESRI User Conference, 2015, prezentacja multimedialna dostępna pod adresem: http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc15/papers/1067_205.pdf [dostęp: 15.02.2018]
- [19] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. 2023 poz. 537)
- [20] Wijas K., *Trójparametryczne ryzyko awarii konstrukcyjnych i eksploatacyjnych przewodów kanalizacyjnych*, Rozprawa doktorska pod kierunkiem dr hab. inż. E. Kuliczowskiej, prof. PŚk, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2022